

UNIVERSIDADE DE LISBOA  
FACULDADE DE CIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA ANIMAL



## **Ecologia trófica do carapau-negrão e da cavala na região da Madeira**

Carolina Correia Respício Teixeira Vieira

**Mestrado em Biologia da Conservação**

Dissertação orientada por:  
Professor Doutor José Pedro Granadeiro  
Doutora Margarida Hermida

2019



## AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi financiado por fundos nacionais, através da FCT – Fundação para a Ciência e Tecnologia, no âmbito do projecto “OceanWebs: Redes tróficas oceânicas: utilização de dados espaciais, informação sobre dieta e biomarcadores de predadores de topo para revelar a estrutura e funcionamento de ecossistemas pelágicos subtropicais” (PTDC/MAR-PRO/0929/2014).

Começo por agradecer aos meus orientadores pela oportunidade de realizar esta tese e por toda a ajuda que me deram! Obrigada pela paciência e por todas as reuniões e comentários que serviram para melhorar este trabalho ou para me colocar a pensar sobre questões que até então não tinha pensado. Obrigada ao Professor José Pedro Granadeiro por me mostrar as maravilhas do R, por estimular a minha curiosidade e por me ensinar que devemos sempre perguntar e ser críticos, mesmo do que é tido como certo. Obrigada à Doutora Margarida Hermida por ter sido sempre prestável a ajudar-me. Obrigada à Doutora Susana Garrido por me apresentar o mundo do zooplâncton! Por ter aceite entrar nesta aventura e por me esclarecer as muitas dúvidas que eu tive sobre peixes e plâncton. O meu obrigada por tudo o que me ensinaram. Aprendi muito!

Um obrigada gigante à Fátima Quintela pela sua generosidade, paciência e alegria, foi uma honra aprender consigo a identificar zooplâncton!

Gostaria de agradecer à Doutora Antonina dos Santos e à sua equipa por me terem recebido no laboratório de zooplâncton do IPMA e terem disponibilizado o material necessário para eu conseguir analisar as amostras de zooplâncton.

Agradeço à Doutora Alexandra Silva e à equipa do laboratório de fitoplâncton do IPMA por terem facilitado o material necessário para a identificação das amostras de fito. Também agradeço à Doutora Alexandra Silva e à Doutora Susana Garrido por terem identificado as amostras de fitoplâncton.

Agradeço ao projecto “BIOMETORE – Biodiversity in seamounts: the Madeira-Tore and Great Meteor” (PT02\_Aviso2\_0001) por terem disponibilizado os dados de isótopos de plâncton do monte submarino Seine.

Agradeço ao Rodrigo Maia e ao CRIE-SIIAF da FCUL pela ajuda nas análises de isótopos estáveis e por me ter explicado todo o processo.

Agradeço à Filipa Silva e ao TecLabs pela simpatia e por terem disponibilizado o liofilizador.

Agradeço ao Professor Carlos Assis por ter a gentileza de me confirmar que se tratavam de otólitos de mictofídeos.

À Cátia, Rita, Catarina, Alessandro, Giorgia, Inês e Lígia obrigada por me acolherem no grupo, já tenho saudades dos almoços musicais! Obrigada também a todos vós e à Isabel pela ajuda no lab de zooplâncton e por irem acompanhando o meu trabalho. Obrigada à Lia, Bárbara e Teresa do lab de fitoplâncton por estarem sempre disponíveis para ajudar.

Ao grupo de investigação Atlantic migrants/Tidal wings, obrigada por me receberem e pelas reuniões de grupo onde aprendi tanto! Obrigada a todos os que me foram acompanhando e dando mensagens de motivação. À Joana Romero obrigada pela ajuda ao longo da tese, e por me ensinarem e ajudarem a identificar os peixes pelas vértebras. À Edna obrigada por, muito antes de

eu chegar a esta tese, teres confiado em mim e teres-me dado a oportunidade de aprender contigo no teu doutoramento. Obrigada pela paciência e por ao longo do tempo continuares a ajudar-me e a ensinar-me. Ao Hany, obrigada por me ajudares a identificar as vértebras de peixes e pelas conversas sobre o meu trabalho.

Ao Filipe, Fernando, Ana Sampaio, Filipa, Marie Claire, Martina, João Fonseca e Joana Pereira obrigada pela amizade, por estarem sempre prontos para ajudar, pela força que me deram, pela paciência, conselhos e momentos de diversão. Obrigada por serem tão curiosos e terem um entusiasmo contagiante por Biologia!

Obrigada à Inês, Sara Nunes, Patrícia Pedro, Julie, Belo e Paulino pela companhia no lab, ajudas mútuas e mensagens de incentivo. Ao Gameiro, Bárbara, Maria João e Teresa obrigada pelas conversas e companhia ao almoço.

Obrigada a todos os que durante esta tese me levaram a passear para o campo!

À Patrícia, Patxó, Sara e Tânia obrigada pela amizade, por nos mantermos sempre unidas nos bons e maus momentos, e por poder contar sempre com o vosso apoio. Levo-vos para a vida! Obrigada também à Cláudia, João Morgado e Marco pelos inúmeros momentos divertidos.

Bea e Mariana, obrigada pela amizade de sempre, por estarem sempre presentes, por todos os jantares e momentos de pura alegria!

À Bea Resendes pela longa amizade.

À Maggie, Mónica e João Canilho obrigada pela amizade, pelas palavras de motivação e por me levarem aos miradouros mais bonitos!

À Carolina, Madalena e Sofia obrigada pela amizade e palavras de força. Por mostrarem sempre entusiasmo! Por ser sempre bom ter conversas longas convosco.

À minha família. Obrigada aos meus pais, às minhas avós e avôs, e à minha bisavó. Obrigada por me terem dado a oportunidade de chegar até aqui e por toda a educação e valores que me transmitiram. Obrigada por me apoiarem Sempre, mesmo quando não concordam totalmente com as minhas escolhas e ter-vos sido uma constante preocupação nestes últimos tempos. Obrigada por me ensinarem a ser sempre melhor. Sabem o quão importantes são para mim!

## RESUMO

As teias tróficas permitem perceber a circulação de massa no ecossistema e a forma como as espécies se relacionam. O seu estudo dá uma perspectiva holística do ecossistema, por mostrar a intensidade dos fluxos de energia e as transferências entre níveis tróficos.

Nos ecossistemas marinhos, o nível trófico intermédio é ocupado por um número relativamente restrito de espécies de pequenos peixes pelágicos que são, normalmente, espécies-chave nos ecossistemas das zonas costeiras muito produtivas.

Os pequenos peixes pelágicos são responsáveis pela conexão entre níveis tróficos, uma vez que têm uma dieta planctónica durante parte ou todo o seu ciclo de vida e que são presas dos grupos tróficos superiores. Em sistemas costeiros muito produtivos, é comum co-ocorrerem diversas espécies de peixes pelágicos e as espécies podem ter uma grande sobreposição dietas ou apresentar uma segregação na ecologia trófica.

No Nordeste do Oceano Atlântico, numa zona sub-tropical e de mar aberto, localiza-se a região da Madeira, Portugal. Este ecossistema marinho é caracterizado por águas oligotróficas apresentando, no entanto, uma grande diversidade de predadores marinhos (aves marinhas, cetáceos e peixes), alguns deles actualmente classificados como ameaçados pela IUCN.

Os peixes pelágicos costeiros dominantes na Madeira são o carapau-negrão (*Trachurus picturatus*) e a cavala (*Scomber colias*). Para além de sustentarem uma parte importante da comunidade marinha, estas espécies são também um importante recurso pesqueiro para a região.

Existem estudos sobre a biologia e ecologia do carapau-negrão e da cavala, mas a informação disponível sobre a dieta destas espécies é reduzida; e, em zonas oceânicas, é praticamente inexistente. Este estudo teve como objectivo principal caracterizar a dieta do carapau-negrão e da cavala na região da Madeira, através da análise de conteúdos estomacais e isótopos estáveis. Como objectivos específicos definiu-se: identificar as principais presas de cada dieta, descrever variações sazonais na dieta de cada espécie e comparar a dieta das duas espécies.

O presente estudo é o primeiro a descrever a dieta da cavala para a região da Madeira e a analisar detalhadamente a dieta do carapau-negrão e da cavala neste local. Este estudo também conseguiu definir as assinaturas isotópicas do carapau-negrão e da cavala para a região da Madeira, e de algumas das suas presas.

A dieta do carapau-negrão teve como presa principal os crustáceos e, dentro deste, os mais importantes foram os copépodes, principalmente os Calanoida; presas como os peixes e os gastrópodes também contribuíram significativamente para a dieta. Relativamente aos peixes, os mictofídeos constam pela primeira vez na sua dieta e o trombeteiro foi das presas mais importantes.

As presas principais da dieta da cavala foram os peixes, seguido de copépodes e cefalópodes. No grupo dos peixes, o agulhão foi das presas mais importantes e foi também observado canibalismo na dieta da cavala. No grupo dos copépodes, os Calanoida foram os que mais contribuíram para a dieta, todavia os Ciclopoida também tiveram uma pequena contribuição. O fitoplâncton e os ovos de crustáceos foram as espécies mais numerosas, no entanto a sua contribuição em carbono foi muito reduzida.

Foi possível verificar que existe sazonalidade nas dietas de carapau-negrão e cavala ao longo do ano. Em ambas as dietas a época S3 (Agosto-Outubro) ficou associada ao consumo de peixes.

Verificou-se que presas como os peixes de profundidade, gastrópodes e decápodes se associaram ao carapau-negrão, enquanto os peixes pelágicos, cefalópodes, ovos de crustáceos e fitoplâncton associaram-se à dieta da cavala. Para ambas as dietas, os copépodes, principalmente os Calanoida são presas importantes. Também se verificou que a cavala consome presas mais pequenas que o carapau-negrão e as áreas dos nichos isotópicos são maiores na cavala.

O índice de Shannon-Wiener indica uma diversidade semelhante de dietas. O índice de Schoener e as áreas dos nichos isotópicos, indicam que não existe sobreposição das dietas.

Este estudo permitiu aprofundar o conhecimento sobre a ecologia trófica do carapau-negrão e da cavala e aumentar o conhecimento sobre a comunidade de peixes e plâncton da região da Madeira, a base trófica do ecossistema marinho.

**Palavras-chave:** pequenos peixes pelágicos; dieta; isótopos; zooplâncton; teias tróficas.

## ABSTRACT

Food webs allow us to understand the circulation of mass in the ecosystem and how species are linked. This kind of studies give a holistic perspective of the ecosystem by showing the intensity of energy flows and how transfers occur between trophic levels.

In marine ecosystems, the intermediate trophic level is occupied by a relatively limited number of small pelagic fish, that are usually key-species of productive coastal areas.

Small pelagic fish are responsible for the connection between trophic levels, as they have a planktonic diet during part or all their life cycle and they are prey of the upper trophic groups. In very productive coastal systems, it is common that several pelagic fish species co-occur and that these species can have a large overlapping diet or present a segregation in the trophic ecology.

The region of Madeira, Portugal, is located in a sub-tropical area and open sea, in the northeast Atlantic Ocean. This marine ecosystem is characterised by oligotrophic waters; however, it presents a great diversity of marine predators (seabirds, cetaceans and fish), some of them currently classified as threatened by the IUCN.

The dominant coastal pelagic fish in Madeira are the blue jack mackerel (*Trachurus picturatus*) and the atlantic chub mackerel (*Scomber colias*). In addition to sustaining an important part of the marine community, these species are also an important fisheries resource for the region.

Although there are studies on the biology and ecology of the blue jack mackerel and the atlantic chub mackerel, there is little information on the diet of these species and, in oceanic areas, it is practically non-existent. Hence, the main aim of this study was to characterize the diet of the blue jack mackerel and the atlantic chub mackerel in the Madeira region, through the analysis of stomach content and isotopes analyses. Specific objectives were defined: to identify the main prey of each diet, to describe seasonal variations in the diet of each species and to compare the diet of the two species.

This is the first study that describes the diet of the atlantic chub mackerel for Madeira region and to thoroughly analyse the diet of the blue jack mackerel and the atlantic chub mackerel in this area. This study defined the isotope signatures of the blue jack mackerel and the atlantic chub mackerel for Madeira region, and of some of their prey.

The blue jack mackerel have as main prey the crustaceans and, within them, the most important were the copepods, mainly the Calanoida; prey like fish and gastropods also contributed significantly for the diet. Regarding fish, the myctophidae have been described for the first time and the longspine snipefish was one of the more important prey.

The main prey of the atlantic chub mackerel diet was fish, followed by copepods and cephalopods. In the group of fish, the atlantic saury was one of the most important and cannibalism of atlantic chub mackerel was recorded. In the group of copepods, Calanoida was the prey that most contributed for the diet, however, Ciclopoida had a small contribution. Phytoplankton and crustacean eggs were the species with more individuals, however the carbon contribution was very small.

It was possible to identify seasonality in the diets of the blue jack mackerel and the atlantic chub mackerel. In both diets, season S3 (August- October) was associated with the consumption of fish.

We verified that prey like deep fish, gastropods and decapods were associated with blue jack mackerel, while pelagic fish, cephalopods, crustaceans' eggs and phytoplankton were associated with atlantic chub mackerel. To both diets, copepods, mainly Calanoida were very important prey. We also verified that the atlantic chub mackerel eat smaller prey than the blue jack mackerel and that isotope niche is bigger for the atlantic chub mackerel.

Shannon-Wiener index indicates an equal diversity for the diets. Schoener index and isotope niche indicate that diets do not overlap.

This study provides a deep understanding on trophic ecology of the blue jack mackerel and the atlantic chub mackerel and increases knowledge about the fish and plankton community in the Madeira region, the trophic base of the marine ecosystem.

**Key-words:** small pelagic fish; diet; isotopes; zooplankton; food webs.



## ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO .....	1
2. MÉTODOS .....	6
2.1. Esquema de amostragem.....	6
2.2. Análise de conteúdos estomacais .....	7
2.3. Análise de Isótopos Estáveis .....	12
3. RESULTADOS.....	15
3.1. Caracterização da amostra populacional .....	15
3.2. Caracterização da dieta de carapau-negrão e de cavala.....	16
3.2.1. Caracterização da dieta do carapau-negrão .....	20
3.2.2. Caracterização da dieta da cavala.....	21
3.3. Sazonalidade de presas na dieta do carapau-negrão e da cavala .....	23
3.4. Ecologia trófica do carapau-negrão e da cavala.....	27
4. DISCUSSÃO.....	31
4.1. Características gerais da amostra .....	31
4.2. Caracterização da dieta de carapau-negrão e de cavala.....	31
4.3. Sazonalidade da dieta do carapau-negrão e da cavala.....	35
4.4. Ecologia trófica do carapau-negrão e da cavala.....	36
4.5. Considerações finais.....	39
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	40
ANEXOS.....	56
SECÇÃO 1: Características complementares da amostra populacional .....	56
SECÇÃO 2: Conteúdo de carbono (µg) das presas.....	57
SECÇÃO 3: Percentagem de conteúdo de carbono (CC%) (médio) das presas identificadas ao nível taxonómico mais detalhado .....	61
SECÇÃO 4: Sazonalidade de presas .....	65
SECÇÃO 5: Percentagem de sobreposição das áreas das elipses .....	69

## LISTA DE TABELAS

**Tabela 2.1** - Número de indivíduos (n) de carapau-negrão e cavala por mês, no mesmo dia, e a divisão do período de estudo por épocas do ano: Fevereiro-Abril (S1), Maio-Julho (S2), Agosto-Outubro (S3) e Novembro-Janeiro (S4), recolhidos na zona Sul da ilha da Madeira. .... 6

**Tabela 2.2** - Tipo de estruturas encontradas nos conteúdos estomacais de carapau-negrão e cavala, e respectivo valor atribuído a cada estrutura para a contagem do número de indivíduos de presas. .... 8

**Tabela 2.3** - Sumário dos testes estatísticos realizados. As variáveis que se testaram e o respectivo teste estatístico. Previamente para todos os testes foram testados os pressupostos, para testar a normalidade usou-se o teste estatístico Shapiro-Wilk e para testar a homogeneidade de variâncias usou-se o Levene test. .... 11

**Tabela 2.4** - Amostras de isótopos estáveis de carapau-negrão, cavala, e presas presentes nos estômagos, o tipo de tecido e o número de amostras (n) anual (total) e por época de estudo: Fevereiro-Abril (S1), Maio-Julho (S2), Agosto-Outubro (S3) e Novembro-Janeiro (S4). As amostras de carapau-negrão e cavala foram colhidas, entre Fevereiro de 2017 e Janeiro de 2018, ao largo da ilha da Madeira. .... 12

**Tabela 3.1** - Valores médios ( $\pm$ desvio-padrão) de comprimento total médio (cm), peso total médio (g) e índice gonadossomático médio (%), por ano (Anual) e por épocas do ano: Fevereiro-Abril (S1), Maio-Julho (S2), Agosto-Outubro (S3) e Novembro-Janeiro (S4) das espécies carapau-negrão e cavala. n: número de indivíduos medidos..... 15

**Tabela 3.2** - Frequência de ocorrência (FO%) e frequência numérica (FN%) (média) das principais presas nos estômagos de carapau-negrão e cavala, capturados ao largo da ilha da Madeira entre 2017 e 2018, representados como dieta anual (Anual) e por épocas do ano: Fevereiro-Abril (S1), Maio-Julho (S2), Agosto-Outubro (S3) e Novembro-Janeiro (S4). n: número de amostras analisadas. n.i.: não identificado. -: não analisado. .... 17

**Tabela 3.3** - Percentagem de conteúdo de carbono (CC%) (média) e índice de importância relativo modificado (mIRI) (médio) das principais presas nos estômagos de carapau-negrão e cavala, capturados ao largo da ilha da Madeira entre 2017 e 2018, representados como dieta anual (Anual) e por épocas do ano: Fevereiro-Abril (S1), Maio-Julho (S2), Agosto-Outubro (S3) e Novembro-Janeiro (S4). n: número de amostras analisadas. n.i.: não identificado. -: não analisado. .... 18

**Tabela 3.4** - Índice de diversidade de Shannon-Wiener ( $H'$ ), valor médio ( $\pm$ desvio-padrão) por amostra, calculado por ano (Anual) e por épocas do ano: Fevereiro-Abril (S1), Maio-Julho (S2), Agosto-Outubro (S3) e Novembro-Janeiro (S4) das espécies carapau-negrão e cavala. n: número de amostras analisadas. .... 29

**Tabela 3.5** - Amostras de carapau-negrão, cavala e das presas presentes nos estômagos analisadas: número de amostras de isótopos estáveis (n), valor médio ( $\pm$ desvio-padrão) de  $\delta^{13}C$  e  $\delta^{15}N$  (zooplâncton com valores corrigidos), nível trófico (TP) médio ( $\pm$ desvio-padrão) calculado usando 3,4‰ como valor de fraccionamento isotópico (TEF) (Post 2002) e nível trófico

(TP) médio e desvio-padrão calculado usando 1,6‰ como valor de fracionamento isotópico (TEF) (Bode et al. 2007). As amostras foram recolhidas, entre Fevereiro de 2017 e Janeiro de 2018, ao largo da ilha da Madeira. .... 30

**Tabela 3.6** - Dimensão do nicho isotópico de carapau-negrão e cavala, e respectivo número de amostras (n), estimados através das seguintes elipses: área total do polígono convexo (TA), área da elipse standard (SEA) e área da elipse standard corrigida (SEAc). .... 31

**Tabela S2.1** - Grupo de presas identificado ao nível taxonómico mais detalhado e respectivo valor de conteúdo de carbono (µg) atribuído a cada presa. Referência ao estudo de onde foi retirado o valor de conteúdo de carbono; referência ao estudo de onde foi adaptado o tamanho médio; referência ao estudo de onde foi adaptado a fórmula de cálculo para o conteúdo de carbono. CL: Comprimento da carapaça; TL: comprimento total; L: comprimento. n.i.: não identificado; = : igual a. .... 57

**Tabela S3.1** - Percentagem de conteúdo de carbono (CC%) (médio) das presas identificadas ao nível taxonómico mais detalhado nos estômagos de carapau-negrão e cavala, capturados ao largo da ilha da Madeira entre 2017 e 2018, representados como dieta anual (Anual) e por épocas do ano: Fevereiro-Abril (S1), Maio-Julho (S2), Agosto-Outubro (S3) e Novembro-Janeiro (S4). n: número de amostras analisadas. n.i.: não identificado. -: não analisado. .... 61

**Tabela S5.1** - Resultados da função maxLikOverlap e respectiva percentagem de sobreposição das áreas das elipses standard (SEA) e das elipses standard corrigidas (SEAc) das espécies carapau-negrão e cavala. .... 69

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 3.1** - (A) Frequência de ocorrência (FO%) anual, (B) frequência numérica (FN%) anual (média), (C) percentagem de conteúdo de carbono (CC%) anual (médio) e (D) índice de importância relativa modificado (mIRI) anual (médio) dos principais grupos de presas das espécies carapau-negrão e cavala. crust.: crustáceos; n.i.: não identificados. .... 16
- Figura 3.2** - Conteúdo de carbono (CC%) anual (médio) relativo de copépodes da dieta de carapau-negrão. n.i.: não identificados. .... 20
- Figura 3.3** - Conteúdo de carbono (CC%) anual (médio) relativo de peixes da dieta de carapau-negrão e cavala. Não ident.: não identificados. .... 20
- Figura 3.4** - Frequência numérica (FN%) anual (média) relativa somente aos principais grupos de presas <200µm de cavala: fitoplâncton não identificado (Fito n.i.), dinoflagelados (Dinoflag.), diatomáceas (Diatom.), cocolitóforos (Cocolitof.). .... 21
- Figura 3.5** - Conteúdo de carbono (CC%) anual (médio) relativo de copépodes da dieta de cavala. n.i.: não identificados. .... 22
- Figura 3.6** - Frequência de ocorrência (FO%) por épocas do ano: Fevereiro-Abril (S1), Maio-Julho (S2), Agosto-Outubro (S3) e Novembro-Janeiro (S4) dos principais grupos de presas para carapau-negrão (azul) e cavala (verde). Crust. total: crustáceos total, Ovos crust.: ovos de crustáceos. Consultar Fig. S4.1. .... 23
- Figura 3.7** - Número médio de presas por épocas do ano: Fevereiro-Abril (S1), Maio-Julho (S2), Agosto-Outubro (S3) e Novembro-Janeiro (S4) dos principais grupos de presas para carapau-negrão (azul) e cavala (verde). O eixo dos yy está representado como  $\log(x+1)$ . \*Não foi analisado nas amostras de carapau-negrão. Crust. total: crustáceos total, Ovos crust.: ovos de crustáceos. Consultar Fig. S4.2. .... 24
- Figura 3.8** - Conteúdo médio de carbono total (µg) por épocas do ano: Fevereiro-Abril (S1), Maio-Julho (S2), Agosto-Outubro (S3) e Novembro-Janeiro (S4) das presas de carapau-negrão (azul) e cavala (verde). \*Não foi analisado nas amostras de carapau-negrão. Consultar Fig. S4.3 ..... 25
- Figura 3.9** - Conteúdo médio de carbono total (mg) por épocas do ano: Fevereiro-Abril (S1), Maio-Julho (S2), Agosto-Outubro (S3) e Novembro-Janeiro (S4) das presas de carapau-negrão (azul) e cavala (verde). Consultar Fig. S4.3. .... 26
- Figura 3.10** - Análise de componentes principais (PCA) da percentagem de conteúdo de carbono (CC%) das espécies carapau-negrão (Car, azul) e cavala (Cav, amarelo), representados como dieta anual (Tot) e por épocas do ano: Fevereiro-Abril (S1), Maio-Julho (S2), Agosto-Outubro (S3) e Novembro-Janeiro (S4). As componentes I e II dos eixos explicaram 30,8% e 26,1% da variância total, respectivamente. Fitoplâncton (Fito); calanoides (Cal); outros copépodes (OCop); decápodes (Dec); ovos de crustáceos (OvC); outros crustáceos (OCru); gastrópodes (Gas); cefalópodes (Cef); ovos de peixes (OvP); peixes não identificados (Pni); peixes de profundidade (PPr); peixes pelágicos (PPe); Outros (Out). .... 28

**Figura 3.11** - Valores médio ( $\pm$ desvio-padrão) de  $\delta^{15}\text{N}$  e  $\delta^{13}\text{C}$  dos exemplares de carapau-negrão (a negro) e cavala (a vermelho) recolhidos ao largo da Madeira entre 2017 e 2018 e das suas presas: presas peixe de carapau-negrão, presas peixe de cavala, zooplâncton *Oncaea* sp. (Onc) (valores corrigidos) e microplâncton, com as épocas do ano a que pertencem Fevereiro-Abril (1), Maio-Julho (2), Agosto-Outubro (3) e Novembro-Janeiro (4). São também apresentados os valores de  $\delta^{15}\text{N}$  e  $\delta^{13}\text{C}$  do zooplâncton (Zoo Biometore), microzooplâncton (Microzoo Biometore) e fitoplâncton (Fito Biometore) recolhidos na campanha de 2016 ao monte submarino Seine, arquipélago submarino Great Meteor e Madeira-Tore, do projecto Biometore. .... 29

**Figura 3.12** - Áreas dos nichos isotópicos de carapau-negrão (azul) e cavala (verde) estimados pela elipse standard (SEA, que corresponde a 95% dos dados; linha tracejada) e pela elipse standard corrigida (SEAc, que corresponde a 40% dos dados; linha contínua). .... 30

**Figura S1.1** - Boxplot do comprimento total das espécies carapau-negrão e cavala por épocas do ano: Fevereiro-Abril (S1), Maio-Julho (S2), Agosto-Outubro (S3) e Novembro-Janeiro (S4). As linhas a verde representam os limites das classes de comprimento total definidas [19,0-21,9]cm para carapau-negrão e [20,0-23,9] para cavala. .... 56

**Figura S1.2** - Boxplot do índice gonadossomático (GSI) das espécies carapau-negrão e cavala por meses e épocas do ano: Fevereiro-Abril (S1), Maio-Julho (S2), Agosto-Outubro (S3) e Novembro-Janeiro (S4). .... 56

**Figura S4.1** - Frequência de ocorrência (FO%) por épocas do ano: Fevereiro-Abril (S1), Maio-Julho (S2), Agosto-Outubro (S3) e Novembro-Janeiro (S4) dos principais grupos de presas para carapau-negrão (azul) e cavala (verde). \*Não foi analisado nas amostras de carapau-negrão. Fito total: fitoplâncton total, Microzoo.: zooplâncton  $<200\mu\text{m}$ , Crust. total: crustáceos total, Ovos crust.: ovos de crustáceos. .... 65

**Figura S4.2** – Número de presas (médio) por épocas do ano: Fevereiro-Abril (S1), Maio-Julho (S2), Agosto-Outubro (S3) e Novembro-Janeiro (S4) dos principais grupos de presas para carapau-negrão (azul) e cavala (verde). O eixo dos yy está representado como  $\log(x+1)$ . \*Não foi analisado nas amostras de carapau-negrão. Fito total: fitoplâncton total, Microzoo: zooplâncton  $<200\mu\text{m}$ , Crust. total: crustáceos total, Ovos crust.: ovos de crustáceos. .... 66

**Figura S4.3** - Conteúdo de carbono total ( $\mu\text{g}$ ) (médio) por épocas do ano: Fevereiro-Abril (S1), Maio-Julho (S2), Agosto-Outubro (S3) e Novembro-Janeiro (S4) dos principais grupos de presas para carapau-negrão (azul) e cavala (verde). \*Não foi analisado nas amostras de carapau-negrão. Fito total: fitoplâncton total, Microzoo: zooplâncton  $<200\mu\text{m}$ , Crust. total: crustáceos total, Ovos crust.: ovos de crustáceos. .... 67

**Figura S4.4** - Índice de importância relativa modificado (mIRI) (médio) por épocas do ano: Fevereiro-Abril (S1), Maio-Julho (S2), Agosto-Outubro (S3) e Novembro-Janeiro (S4) dos principais grupos de presas para carapau-negrão (vermelho) e cavala (verde). \*Não foi analisado nas amostras de carapau-negrão. Fito total: fitoplâncton total, Crust. total: crustáceos total, Ovos crust.: ovos de crustáceos. .... 68

## 1. INTRODUÇÃO

As teias tróficas permitem perceber a circulação de massa nos sistemas ecológicos, assim como a intensidade dos principais fluxos de energia, e assim permitem compreender as transferências entre os níveis tróficos (Silberberger et al. 2018; Hobson et al. 2002). O seu estudo fornece uma perspectiva holística do ecossistema; mostra como é que as espécies se relacionam, conjugando todas as cadeias alimentares e as suas sobreposições, criando uma imagem que representa a complexidade do modelo (Pimm et al. 1991).

Em muitos ecossistemas marinhos, especialmente nos oceânicos, o nível trófico intermédio é frequentemente dominado por um número relativamente restrito de espécies de pequenos peixes pelágicos que são, normalmente, espécies-chave nos ecossistemas das zonas costeiras muito produtivas, como as zonas de afloramento costeiro (Cury et al. 2000; Bakun 2006; Garrido et al. 2015).

Os pequenos peixes pelágicos têm uma dieta planctónica durante parte ou todo o seu ciclo de vida e são presas dos grupos tróficos superiores, sendo responsáveis pela conexão entre níveis tróficos (Bakun 2006). Assim, os estudos das dietas dos pequenos pelágicos também contribuem para obter informação, com um nível taxonómico detalhado, acerca dos níveis tróficos base dos ecossistemas, como o fitoplâncton e o zooplâncton. Os pequenos peixes pelágicos, vivem em cardumes, que podem ser constituídos por mais do que uma espécie, têm uma vida relativamente curta (quando comparada com a dos seus predadores), atingem a idade adulta cedo, e são espécies geralmente muito abundantes (Louw et al. 1998; Palomera et al. 2007; Suca et al. 2018). Os peixes pelágicos costeiros tendem a ser consumidores generalistas e com uma grande plasticidade, algumas espécies têm uma distribuição cosmopolita e sua distribuição está intimamente associada às condições ambientais (Alheit et al. 2012).

No sistema de afloramento do ecossistema da costa Ibérica existem diversas espécies de peixes pelágicos costeiros, como a sardinha (*Sardina pilchardus*), que é das espécies mais abundantes nessa área (Garrido et al. 2008), o biqueirão (*Engraulis encrasicolus*), a sarda (*Scomber scombrus*), o carapau (*Trachurus trachurus*), a boga (*Boops boops*), o carapau-negrão (*Trachurus picturatus*) e o carapau-mediterrânico (*Trachurus mediterraneus*). Estas espécies co-ocorrem no mesmo ecossistema; algumas espécies apresentam uma razoável segregação nas dietas e na ecologia trófica, noutras existe uma grande sobreposição (Bachiller & Irigoien 2015; Garrido et al. 2015). A diversificação das dietas pode surgir pelo consumo de presas com tamanhos diferentes ou a profundidades diferentes na coluna de água, por haver espécies com uma dieta mais zooplanctónica ou mais fitoplanctónica, ou pela disponibilidade de alimento (Garrido & Murta 2011; Bachiller & Irigoien 2013; Bachiller & Irigoien 2015; Garrido et al. 2015). Além disso, também existem variações na dieta da mesma espécie devido a variações ontogénicas, sazonais ou espaciais (Garrido & Murta 2011; Garrido et al. 2015).

Dinâmicas semelhantes foram descritas no Nordeste Atlântico. Por exemplo, o arenque (*Clupea harengus*), o verdinho (*Micromesistius poutassou*) e a sarda, são todos peixes planctónicos muito abundantes na zona da Noruega e com dietas baseadas em zooplâncton, mas seleccionam presas diferentes (Utne et al. 2012; Bachiller et al. 2016). O mesmo se passa com a espadilha (*Sprattus sprattus*), o arenque, a sarda e o carapau, ao largo da Bélgica, no mar do Norte (Ginderdeuren et al. 2014). Os exemplos repetem-se no ecossistema Ártico e sub-ártico (Hedeholm et al. 2012; Hop & Gjøsæter 2013; Suca et al. 2018), na corrente de Benguela, no Atlântico Sul e em muitos pontos do mundo (James 1987; Louw et al. 1998; Shannon et al. 2000; Van der Lingen 2002; Drapeau et al. 2004), mostrando que é muito importante conhecer as dietas dos pequenos



pelágicos para compreender melhor a estrutura e funcionamento dos ecossistemas.

Na costa Oeste de África, no Atlântico Norte, algumas das espécies de peixes pelágicos dominantes são a sardinha, as sardinelas (*Sardinella maderensis*, *Sardinella aurita*), o carapau, o carapau do cunene (*Trachurus trecae*), o charro amarelo (*Caranx rhonchus*), o biqueirão e a cavala (Valdés & Déniz-González 2015). No ecossistema dos Bijagós, na Guiné-Bissau, a sardinela (*Sardinella maderensis*) é a presa mais importante na dieta de vários predadores de topo (Correia et al. 2017; Correia et al. 2019). Estas espécies estão associadas a sistemas costeiros muito produtivos, devido à existência de fenómenos de afloramento costeiro. Mais para Oeste, no Nordeste do oceano Atlântico (30°-33°N; 15°-17°W) localiza-se a Região Autónoma da Madeira, Portugal, numa zona de mar aberto, a aproximadamente 700km da costa Oeste Africana. Esta região está sob a influência do giro do Atlântico Norte, e particularmente dos ventos Alísios, e do ponto de vista oceanográfico é influenciada por ramos da Corrente das Canárias (Caldeira et al. 2002; Davenport et al. 2002). O ecossistema marinho da Madeira situa-se numa zona subtropical, caracterizada por ter águas oligotróficas, ou seja, pobres em nutrientes (Kinzer et al. 1993; Griffiths et al. 2013; Moreira et al. 2018) e de baixa produtividade (Caldeira et al. 2002; Behrenfeld et al. 2006). Contudo, este tipo de ambientes têm alguma diversidade de espécies, e as teias tróficas são, normalmente, complexas (Griffiths et al. 2013). Por exemplo, a Madeira tem uma grande diversidade de predadores marinhos (cetáceos, aves marinhas e grandes peixes), e possui várias áreas marinhas classificadas como Zonas Especiais de Conservação (ZEC) e Zonas de Protecção Especial (ZPE) (ICNF 2019; ICNF Madeira 2019).

Os peixes pelágicos costeiros dominantes na Madeira são o carapau-negrão (*Trachurus picturatus*) (também conhecido como chicharro, na Madeira) e a cavala (*Scomber colias*) (DGRNSSM 2018; DGRNSSM 2019), que sustentam uma parte muito importante da comunidade marinha, que incluem vários predadores (aves, peixes e cetáceos) actualmente classificados com ameaçados pela União Internacional para a Conservação da Natureza (IUCN) (IUCN 2006, 2011, 2018).

O carapau-negrão é uma presa importante na dieta da lula-mansa (*Loligo forbesii*) (Martins 1982; Pierce et al. 1994) e de diversas espécies de peixes, como o safio (*Conger conger*) (Morato et al. 1999) e a barracuda (*Sphyrna viridensis*) (Barreiros et al. 2002) e presa secundária de raias (*Raja clavata*) e tubarões (*Galeorhinus galeus*) (Morato et al. 2003; Torres et al. 2014). A cavala é a presa principal na dieta do marlim-azul (*Makaira nigricans*) (Veiga et al. 2011) e do atum gaiado (*Katsuwonus pelamis*) (Ramos et al. 1995), e faz parte da dieta de várias espécies, como o safio (Morato et al. 1999), as raias (*R. clavata*) e tubarões (*G. galeus*) (Morato et al. 2003; Torres et al. 2014), o espadarte (*Xiphias gladius*), o marlim-azul (Castro 1993) e o atum rabilho (*Thunnus thynnus*) (Varela et al. 2013). O atum patudo (*Thunnus obesus*), o atum voador (*Thunnus alalunga*) e o atum albacora (*Thunnus albacares*) têm estudos para a zona do Atlântico e Pacífico em que consomem peixes das famílias do carapau-negrão e da cavala (Pinkas et al. 1970; Batts 1972; Dragovich & Potthoff 1972; Duffy et al. 2017). Relativamente às aves marinhas, o carapau-negrão é uma das presas principais: das cagaras (*Calonectris diomedea*) nos Açores (apesar de existirem variações entre anos) e Desertas (Granadeiro JP et al. 1998; Paiva et al. 2010; Xavier et al. 2011; Neves et al. 2012), das crias de andorinha-do-mar-rósea (*Sterna dougallii*) (Ramos et al. 1998; Martins et al. 2004), e também contribui para a dieta do garajau-comum (*Sterna hirundo*) (Granadeiro et al. 2002), das cagaras nas Selvagens (Alonso et al. 2014; Alonso et al. 2018), das gaivotas-de-patas-amarelas (*Larus michahellis atlantis*) (Romero et al. 2019) e da freira-do-Bugio (*Pterodroma deserta*) (Nunes et al. 2019). A cavala é a presa principal na dieta das cagaras nas Selvagens (Paiva et al. 2010; Alonso et al. 2013; Alonso et al. 2014; Alonso et al. 2018), e também

tem uma contribuição na dieta das crias de gaivotas-de-patas-amarelas (Romero et al. 2019), e na dieta das cagaras nos Açores e Berlengas (Paiva et al. 2010; Neves et al. 2012), além de ser presa da freira-do-Bugio (Nunes et al. 2019). Para os mamíferos marinhos, está descrito que o golfinho-comum-de-bico-curto (*Delphinus delphis*), o golfinho-roaz (*Tursiops truncatus*), o golfinho-riscado (*Stenella coeruleoalba*) e o golfinho-pintado-do-atlântico (*Stenella frontalis*) alimentam-se de carapau-negrão e cavala (Quérouil et al. 2008; Fernández et al. 2011; Marçalo et al. 2018).

Além da sua importância como presa, o carapau-negrão e a cavala são importantes recursos pesqueiros para a região da Madeira (Vasconcelos et al. 2006, 2011, 2018; Velasco et al. 2011; Feijó et al. 2018). Estima-se que em 2017 tenham sido desembarcadas 266,7 toneladas de carapau-negrão e espécies similares e 195,2 toneladas de cavala; e em 2018, as estimativas foram de 203,3 toneladas para o carapau-negrão e de 222,6 toneladas para cavala. Em ambos os anos foram das espécies de peixes com maiores quantidades capturadas, sendo ultrapassados apenas pelos atuns e pelo peixe-espada-preto (*Aphanopus carbo*) (Hermida & Delgado 2016; DGRNSSM 2018; DGRNSSM 2019).

O carapau-negrão, da família Carangidae, ocorre no mar Mediterrâneo, e na zona costeira Este do oceano Atlântico, desde Marrocos até à Baía de Biscaia (França) e ainda nos montes submarinos e nos arquipélagos dos Açores, Madeira, Canárias, Tristão da Cunha e Ilha de Gonçalo Álvares (Isidro 1990; Vasconcelos et al. 2006). Em termos de abundância de indivíduos, existem poucos estudos, mas sabe-se que a zona Sul do canhão da Nazaré é das zonas com maior abundância na costa continental Portuguesa (Gonçalves et al. 2013; Feijó et al. 2018) e que é muito abundante nas águas da Madeira (DGRNSSM 2018; DGRNSSM 2019). Esta espécie encontra-se a profundidades entre os 100m e os 300m, podendo ir até aos 400-500m (Mytilineou et al. 2005; Menezes et al. 2009; IUCN 2015), sendo considerada como bento-pelágico (Riede 2004; Menezes et al. 2006).

Existem vários estudos da biologia e ecologia do carapau-negrão, nomeadamente, sobre o crescimento (Isidro 1990; Borges et al. 2003; Mendes et al. 2004; Torres et al. 2012; Garcia et al. 2015; Jurado-Ruzafa & Santamaría 2018), incluindo para a zona da Madeira (Vasconcelos et al. 2006, 2017), e sobre a sua reprodução (Arkhipov & Mamedov 2008; Jurado-Ruzafa & Santamaría 2012; Gonçalves et al. 2013; Garcia et al. 2015; Costa 2019), mas a informação sobre a dieta, principalmente em águas oceânicas, é praticamente inexistente.

A cavala (*Scomber colias*), da família Scombridae, foi recentemente separada taxonomicamente da cavala do Pacífico (*Scomber japonicus*), após vários estudos terem mostrado que existem diferenças filogenéticas e morfológicas, e que se tratava de duas espécies distintas (Infante et al. 2007; Catanese et al. 2010). A cavala é uma espécie de águas temperadas e sub-tropicais, com distribuição no mar Mediterrâneo, mar Negro e no oceano Atlântico, desde a África do Sul até à Baía de Biscaia, e que inclui os arquipélagos e montes submarinos, além da costa oeste do Atlântico (Collette 1986; IUCN 2011; Martins et al. 2013; Collette 1999). Contudo, ainda existem dúvidas relativamente à sua distribuição, havendo controvérsia relativamente à classificação da população de cavalas da zona Atlântica da Argentina (Trucco & Buratti 2017). Por outro lado, com as tendências para o aumento da temperatura do mar, começa a haver uma expansão na sua distribuição a Norte (Martins et al. 2013; Garrido et al. 2015). Existem poucos estudos sobre a abundância, mas sabe-se que relativamente a Portugal continental, a espécie é mais abundante de Lisboa para Sul (Martins et al. 2013). E ocorre desde a superfície até aos 250-300m de profundidade, sendo um peixe epipelágico (Collette 1986; IUCN 2011). Existem vários estudos sobre o seu crescimento (Lorenzo et al. 1995; Petrakis & Stergiou 1995; Lorenzo & Pajuelo 1996;



Carvalho et al. 2002; Santos et al. 2002; Mendes et al. 2004; Martins 2007; Velasco et al. 2011; Torres et al. 2012; Kec Zorica 2013; Porfírio 2017), incluindo para a zona da Madeira (Vasconcelos et al. 2011, 2012), e sobre a sua reprodução (Lorenzo & Pajuelo 1996; Vasconcelos et al. 2012), mas, mais uma vez, existe pouca informação acerca da sua dieta em zonas oceânicas.

Tal como referido, existem poucos estudos sobre a ecologia trófica do carapau-negrão. A sua dieta está descrita na costa continental Portuguesa (Garrido et al. 2015), em Maiorca no mar Mediterrâneo (Deudero 2001; Deudero & Morales 2001), no monte submarino Seine (Hirsch & Christiansen 2010) e também existe um estudo na costa da Madeira e Canárias, focado nos parasitas, que refere que os estômagos analisados na área da Madeira continham eufausiáceos e peixes (Costa et al. 2013). Os estudos atribuem ao carapau-negrão uma dieta de peixe e zooplâncton, sobretudo copépodes, e excluem o fitoplâncton da sua dieta (Garrido et al. 2015), no entanto existe uma lacuna de conhecimento sobre as variações da dieta ao longo da ontogenia.

Os estudos sobre o comportamento alimentar do carapau-negrão também não são consensuais: no monte submarino Seine algumas evidências sugerem que não existe migração vertical (Hirsch & Christiansen 2010), no monte submarino Great Meteor verificaram uma relação negativa com a noite (Fock et al. 2002), noutro estudo nos monte submarinos Irving, Meteor e Josefine observaram a espécie em zonas mais profundas durante o dia e migrações para a superfície durante a noite (Pakhorukov 2008). Para o carapau (*T. trachurus*) e para o carapau-mediterrânico (*Trachurus mediterraneus*) a predação é mais eficiente durante o dia, quando há boas condições de visibilidade (Bachiller & Irigoien 2015).

Quanto à cavala, existem estudos sobre a ecologia trófica nos ecossistemas das Canárias (Castro 1993; Castro & Hernández-García 1995; Castro & Pino 1995), costa continental Portuguesa (Garrido et al. 2015), Golfo da Biscaia (Bachiller & Irigoien 2015), Mauritânia (Gushchin & Corten 2017), Noroeste de África (Habashi & Wojciechowski 1973; Wahbi et al. 2015), Egipto (Rizkalla & Faltas 1997) e Turquia (Sever et al. 2006), mas não existem para a área da Madeira. Nestes estudos é descrito que a cavala consome crustáceos, principalmente, copépodes, eufausiáceos e misidáceos; e tem também uma contribuição de fitoplâncton e de peixes na sua dieta. Os estudos nas Canárias abordaram as variações ontogénicas e verificaram diferenças entre juvenis, imaturos e adultos (Castro 1993; Castro & Hernández-García 1995; Castro & Pino 1995); os grupos de presas são os mesmos, mas há uma variação na proporção, sendo as principais diferenças: os misidáceos, que aumentaram a sua contribuição em indivíduos com maior comprimento, enquanto os apendicularia diminuíram; os peixes estiveram sempre presentes, e os copépodes foram sempre uma contribuição importante, sendo maior nos juvenis. Outro estudo também comparou diferenças nos tamanhos e verificou uma transição de copépodes para peixes entre os juvenis e adultos (Wahbi et al. 2015). Relativamente ao comportamento alimentar, a única referência encontrada parece indicar que a cavala realiza migrações verticais, nos montes submarinos Meteor (Açores) (Pakhorukov 2008).

Sobre as interações entre carapau-negrão e cavala, o único estudo de que se tem conhecimento, e que analisa a dieta de ambas as espécies em simultâneo, ocorreu na costa continental Portuguesa e encontrou uma sobreposição de dietas entre peixes pelágicos, mas não parece existir uma competição forte entre as duas espécies (Garrido et al. 2015).

Para estudar a ecologia trófica dos peixes pelágicos a metodologia mais amplamente usada é a análise de conteúdos estomacais: é o método mais bem estabelecido e tem como vantagem conseguir um nível taxonómico detalhado (Hyslop 1980). A análise de isótopos estáveis é um

método mais recente, que permite conhecer a dieta do predador numa janela temporal maior, consoante o tipo de tecido escolhido (Sweeting et al. 2007), no caso do músculo equivale a 2-4 meses (Trueman et al. 2005; Barton et al. 2019), e calcula o rácio entre o isótopo pesado e o isótopo leve, ou seja,  $\delta^{15}\text{N}:\delta^{14}\text{N}$  e  $\delta^{13}\text{C}:\delta^{12}\text{C}$ . Os isótopos mais utilizados nos estudos de ecologia são os de azoto ( $\delta^{15}\text{N}$ ) e carbono ( $\delta^{13}\text{C}$ ). O azoto aumenta ao longo dos níveis da cadeia trófica, por existir uma acumulação do isótopo pesado nos processos metabólicos, por isso utiliza-se para estimar a posição trófica da espécie, sendo necessário uma *baseline* robusta do ecossistema, e conhecer o valor de fraccionamento isotópico entre presa e consumidor para conseguir estimar o nível trófico. Já o carbono tem variações mínimas entre níveis tróficos pertencentes à mesma cadeia alimentar e, por isso é frequentemente usado para diferenciar as fontes de carbono das teias tróficas (DeNiro & Epstein 1981; Post 2002; Layman et al. 2012; Madigan et al. 2012). Cada metodologia tem as suas vantagens e limitações, e portanto, a utilização simultânea da análise de conteúdos estomacais e de isótopos estáveis complementa os estudos de ecologia trófica.

O objectivo principal deste estudo é caracterizar a dieta do carapau-negrão e da cavala na região da Madeira, uma área oceânica sob influência do giro do Atlântico Norte, através da análise de conteúdos estomacais e de isótopos estáveis. Como objectivos específicos definiram-se (1) identificar as principais presas de cada espécie; (2) descrever variações sazonais na dieta de cada espécie; (3) comparar a dieta das duas espécies, avaliando a eventual sobreposição de dietas, e determinar o respectivo nível trófico. Adicionalmente, pretende-se utilizar a informação da dieta para compreender melhor os comportamentos e interações entre espécies e presas, e aprofundar o conhecimento sobre os pequenos peixes pelágicos e sobre a base da teia trófica do ecossistema marinho da região da Madeira.

## 2. MÉTODOS

### 2.1. Esquema de amostragem

Os exemplares de carapau-negrão e cavala foram obtidos mensalmente entre Fevereiro de 2017 e Janeiro de 2018 (Tabela 2.1), na zona Sul da ilha da Madeira. Nos meses de Julho, Agosto e Dezembro não foi possível obter exemplares de nenhuma das espécies, e em Novembro não foi possível obter carapau-negrão.

Todos os exemplares foram obtidos através de artes de cerco, utilizando redes com ca. 255m de comprimento, 80m de altura e malha de 18mm. As capturas realizaram-se entre as 22h00 e as 04h00, com recurso ao uso de luz intensa e engodo (Vasconcelos et al. 2006, 2018). Os peixes foram adquiridos em lota pela Direcção Regional de Pescas da Madeira (DRP), com excepção do mês de Janeiro, que foram comprados no mercado local. Os indivíduos capturados foram congelados até serem analisados.

Para analisar a sazonalidade na dieta, o período de estudo foi dividido em 4 épocas: de Fevereiro a Abril (S1); de Maio a Julho (S2); de Agosto a Outubro (S3); de Novembro a Janeiro (S4) (Tabela 2.1).

No laboratório, registaram-se as seguintes biometrias, de cada exemplar: comprimento total (TL, 0,1cm), peso total (TW; 0,1g), peso eviscerado (EW; 0,1g), peso das gónadas (GW; 0,1g), peso total do estômago (com aproximação à 0,01g), peso do estômago vazio e peso do conteúdo estomacal (ambos, com aproximação à 0,1mg); o conteúdo estomacal foi congelado (Garrido et al. 2008). Apenas se analisaram as presas recolhidas entre a zona cardíaca e pilórica do estômago, para evitar taxas de digestão diferentes nas presas (James 1987; Garrido et al. 2008; Nikolioudakis et al. 2012; Costalago et al. 2014).

**Tabela 2.1** - Número de indivíduos (n) de carapau-negrão e cavala por mês, no mesmo dia, e a divisão do período de estudo por épocas do ano: Fevereiro-Abril (S1), Maio-Julho (S2), Agosto-Outubro (S3) e Novembro-Janeiro (S4), recolhidos na zona Sul da ilha da Madeira.

Mês/Ano	Época	Carapau-negrão	Cavala
		n	n
Fevereiro 2017	S1	20	20
Março 2017		20	20
Abril 2017		20	20
Maio 2017	S2	19	21
Junho 2017		20	20
Julho 2017		-	-
Agosto 2017	S3	-	-
Setembro 2017		4	23
Outubro 2017		20	20
Novembro 2017	S4	-	20
Dezembro 2017		-	-
Janeiro 2018		20	20

## 2.2. Análise de conteúdos estomacais

Para evitar fontes de variação na dieta devidas à diferença de comprimento, os estômagos analisados foram seleccionados apenas de indivíduos pertencentes a classes de comprimento (Garrido et al. 2008; Garrido & Murta 2011). As classes de comprimento foram definidas com base nos TL mais abundantes dos meses de Fevereiro, Março e Abril de 2017, para cada uma das espécies. Seleccionou-se o intervalo [19,0-21,9]cm para carapau-negrão e [20,0-23,9]cm para cavala (Fig. S1.1), e assumiu-se que as variações ontogénicas da dieta nestes intervalos seriam mínimas. No entanto, no mês de Setembro um dos estômagos do conjunto de carapau-negrão analisado possuía TL de 18cm; e no mês de Junho, foi analisado um conjunto de três estômagos de cavalas com TL de 24cm e outro de três cavalas com TL de 25cm, uma vez que nestas ocasiões não houve indivíduos suficientes com o TL das classes definidas, tendo-se optado pelos indivíduos com TL mais próximo.

De forma geral, para cada espécie foram analisados nove estômagos por mês, sendo cada amostra composta pelo conjunto de três estômagos pertencentes à classe de TL definida (no mês de Setembro analisaram-se apenas três estômagos de carapau-negrão, por não existirem indivíduos suficientes). A análise de conjuntos de estômagos de indivíduos de comprimento semelhante e capturados no mesmo lance de pesca é um procedimento comum nos estudos de dieta de pequenos peixes pelágicos (Van der Lingen 2002; Garrido et al. 2008; Nikolioudakis et al. 2012; Costalago et al. 2015; Wahbi et al. 2015), por permitir obter uma amostragem mais representativa da população com um esforço laboratorial menor.

Os estômagos de carapau-negrão foram descongelados e homogeneizou-se o conteúdo dos três estômagos, diluídos num volume (mL) conhecido de água destilada. No caso do carapau-negrão, desse volume total retirou-se 5mL com uma pipeta, que se colocou numa câmara de contagem de Bogorov. Todas as presas encontradas na sub-amostra foram contadas e identificadas até ao nível taxonómico mais baixo possível. A observação foi feita num microscópio estereoscópico Olympus SZX12, com uma ampliação de 160x. Quando o número de presas identificadas era inferior a 100 analisaram-se, de cada vez, mais 5mL de amostra, até se obterem um mínimo de 100 presas ou até a amostra estar totalmente analisada (Borme et al. 2009; Bachiller & Irigoien 2013; Ginderdeuren et al. 2014).

A identificação de zooplâncton foi feita através de consulta de guias de identificação (Rose 1933; Conway 2012; Conway 2015). A identificação das espécies e/ou família de peixes foi feita através das vértebras e otólitos encontrados nos conteúdos estomacais por comparação com uma colecção de referência de vértebras e otólitos de peixes da área de estudo.

Durante a análise de conteúdos, sempre que se encontraram tecidos musculares de peixes (presas), dentro dos estômagos, estes foram recolhidos e congelados para análise de isótopos estáveis.

O procedimento de preparação dos conteúdos estomacais da cavala foi semelhante, mas por esta espécie incluir presas mais pequenas na sua dieta (Garrido et al. 2015), também se realizou a quantificação do microplâncton. Para isso as amostras foram crivadas através de um crivo de 200µm, com o auxílio de um esguicho, obtendo-se duas fracções (Garrido et al. 2008; Garrido et al. 2015), de forma a separar a fracção >200µm, constituída por mesozooplâncton, ictioplâncton e restos de peixes, da fracção <200µm constituída por microplâncton (microzooplâncton e fitoplâncton). A fracção >200µm foi analisada seguindo os mesmos procedimentos das amostras de carapau-negrão descritos acima. À fracção <200µm adicionou-se água destilada até atingir um volume (mL) conhecido. De seguida, a amostra foi dividida em duas porções (registaram-se os

volumes, em mL), uma para identificação e outra para análise de isótopos estáveis. A amostra <200µm para identificação foi preservada com formalina a 4%. Para a identificação do microplâncton, mediu-se o volume total da amostra (com formalina) e analisaram-se 2mL de amostra, numa câmara de contagem de Zeiss. Nos casos em que a amostra era muito turva (devido a detritos) diluiu-se mais a amostra até ser possível contabilizar correctamente as presas. As câmaras de contagem ficaram em repouso por um período mínimo de duas horas antes de serem observadas. O conteúdo da câmara de contagem foi analisado na sua totalidade. A observação e identificação dos *taxa* de microplâncton foi feita com o apoio de investigadoras do IPMA (Instituto Português do Mar e Atmosfera), em microscópio invertido Leica DM IL LED, com ampliação 200x.

A quantificação de microplâncton foi realizada para oito amostras de cavala correspondentes a duas amostras de S1 (uma de Março e uma de Abril), uma amostra de S2 (Maio), três amostras de S3 (uma de Setembro e duas de Outubro) e duas amostras de S4 (duas de Janeiro). Para os estômagos cujo microplâncton não foi identificado, utilizaram-se os valores médios de cada presa calculados a partir dos valores dos estômagos observados correspondentes à respectiva época do ano.

Para ambas as espécies foram definidas regras para quantificar o número de indivíduos encontrados nas análises de conteúdos estomacais, listadas na Tabela 2.2.

**Tabela 2.2** - Tipo de estruturas encontradas nos conteúdos estomacais de carapau-negrão e cavala, e respectivo valor atribuído a cada estrutura para a contagem do número de indivíduos de presas.

Estruturas	Número de indivíduos
Indivíduo completo, cabeça, cefalotórax, tórax, abdómen, telson, tórax+abdómen; telson+abdómen, bico de cefalópode, fitoplâncton	1
Cada ovo ou postura	1
Vértebras, otólitos, olhos de peixe	Valor máximo do número de indivíduos obtido do emparelhamento de todas as estruturas identificadas
Tecido muscular, estruturas rígidas de peixe	1 caso não existam mais indícios de peixe na amostra
Antena, olho, pinça, mandíbula	0,25
Espícula de equinodermata	1 a 5 espículas equivale a 1 indivíduo
Patas	0,1
Escamas, restos não definidos	0

Considerou-se indivíduos incompletos, ou seja, apenas com cefalotórax, tórax ou télson, como um indivíduo para evitar uma sub-estimação, pois a probabilidade de se voltar a contabilizar o mesmo indivíduo (identificado ao nível taxonómico mais baixo possível) por se encontrar a restante parte do corpo é baixa, devido ao nível de digestão dos estômagos. Ainda assim, pode ser possível voltar a contabilizar o mesmo indivíduo (mas identificado com um nível taxonómico mais geral) através de estruturas como antenas ou patas, e por isso foi atribuído um valor menor à presença isolada destas estruturas, para evitar uma sobrestimação.

Os copépodes parasitas foram incluídos como itens da dieta das duas espécies de estudo, por não serem necessariamente parasitas destes peixes, podendo parasitar a pele ou as brânquias de peixes

(Cressey & Lachner 1970; Kabata 1982). Por outro lado, os parasitas do tipo nemátodes e os grãos de pólen foram excluídos da contabilização do número de indivíduos por não contribuírem para a dieta.

Em nenhum estômago apareceram as duas partes do bico de cefalópodes em simultâneo, assim, quando se encontrou apenas um dos lados do bico considerou-se um indivíduo.

Para a contagem do número de peixes presentes na dieta, conjugaram-se diferentes fontes de informação. Assim, deu-se primazia ao número máximo de vértebras (ou grupos de vértebras) facilmente identificáveis como o Atlas, ou os pedúnculos caudais, ou vértebras intermédias características das espécies (como a primeira caudal, Granadeiro & Silva 2000). Nos casos em que se observaram vértebras, mas não se encontraram estruturas que permitissem contabilizar o número de indivíduos, devido ao alto nível de degradação, só se contabilizou um indivíduo. Nos casos em que existiram pares de otólitos da mesma espécie identificada (Tuset et al. 2008) através das vértebras, estes foram emparelhados com as vértebras e considerados como um só indivíduo. Otolitos pertencentes a espécies diferentes das espécies identificadas através das vértebras foram contabilizados considerando o número máximo de pares de otólitos. Em estômagos em que não se encontraram vértebras nem otólitos, mas estavam presentes brânquias, espinhas, estruturas ósseas e/ou músculo, foi considerada a existência de um peixe n.i. (não identificado).

A presença de escamas nos estômagos não foi utilizada para a caracterização da dieta, já que a taxa de ocorrência era muito elevada, mas em muitos estômagos elas constituíram o único indício de ingestão de peixe. No âmbito deste estudo não foi possível interpretar a presença de um número tão elevado de pequenas escamas (normalmente dezenas ou mesmo centenas) em tantos estômagos observados, podendo eventualmente dever-se a uma acumulação no estômago por serem de digestão mais demorada.

Para caracterizar a época de reprodução foi calculado o índice gonadosomático (GSI) para cada indivíduo de carapau-negrão e cavala, seguindo a fórmula (Jardas et al. 2004; Vasconcelos et al. 2012):

$$\text{Equação 2.2.1: GSI (\%)} = \frac{\text{peso das gónadas}}{\text{peso total do indivíduo}} \times 100$$

Para descrever a actividade alimentar de cada espécie analisou-se a intensidade alimentar (FI) e o índice de vacuidade (VI). A intensidade alimentar (FI) foi calculada, para cada indivíduo de carapau-negrão e cavala, do seguinte modo (Garrido et al. 2008):

$$\text{Equação 2.2.2: FI (\%)} = \frac{\text{peso do conteúdo estomacal}}{(\text{peso total} - \text{peso das gónadas})} \times 100$$

Para indivíduos cujas gónadas eram demasiado leves para serem pesadas (principalmente fora da época de reprodução), assumiu-se como 0 o peso das gónadas (Ginderdeuren et al. 2014; Garrido et al. 2015). Para testar diferenças de FI entre espécies utilizou-se o Mann-Whitney U test, e para as diferenças entre épocas da mesma espécie utilizou-se o Kruskal-Wallis rank tests (Tabela 2.3).

Calculou-se o índice de vacuidade (VI) para cada uma das espécies, seguindo a fórmula:

$$\text{Equação 2.2.3: VI (\%)} = \frac{\text{número de estômagos vazios}}{\text{número total de estômagos}} \times 100$$

Consideraram-se estômagos vazios os estômagos que não continham nenhuma estrutura que permitisse a contabilização de indivíduos.

De modo a obter o número de indivíduos de presas na amostra completa, os dados observados foram multiplicados pelo factor de diluição respectivo, e de seguida, dividido pelo número de estômagos presentes na amostra, neste estudo foram sempre três. Assim, os valores apresentados sobre as amostras referem-se ao número médio de presas do conjunto dos três estômagos.

Para caracterizar a dieta de carapau-negrão e de cavala calcularam-se, para cada uma das espécies, a frequência de ocorrência (FO%), a frequência numérica (FN%), a percentagem de conteúdo de carbono (CC%), o índice modificado de importância relativa de presas (mIRI) e o índice de diversidade de Shannon-Wiener (H').

A frequência de ocorrência (FO%) para cada grupo de presas foi definida como:

$$\text{Equação 2.2.4: FO\%} = \frac{\text{número de amostras em que a presa está presente}}{\text{número total de amostras analisadas da espécie}} \times 100$$

Para o cálculo da frequência de ocorrência do microplâncton (fracção <200µm) considerou-se como o número total de amostras apenas o número de amostras observadas para microplâncton.

A frequência numérica (FN%) foi calculada como (Ginderdeuren et al. 2014):

$$\text{Equação 2.2.5: FN\%} = \frac{\text{número de presas do grupo na amostra}}{\text{número total de presas nessa amostra}} \times 100$$

A percentagem de conteúdo de carbono (CC%) foi calculada do seguinte modo (Van der Lingen 2002; Espinoza & Bertrand 2008; Costalago et al. 2014; Garrido et al. 2015):

$$\text{Equação 2.2.6: CC\%} = \frac{\text{quantidade de conteúdo de carbono de cada presa na amostra}}{\text{quantidade total de conteúdo de carbono nessa amostra}} \times 100$$

A quantidade de conteúdo de carbono foi obtida através de fórmulas e valores calculados da bibliografia, com base no volume ou no comprimento e massa dos organismos (Tabela S2.1). Adicionalmente, para os copépodes e peixes, foi calculado para cada grupo o conteúdo de carbono relativo, sendo a quantidade de conteúdo de carbono total, apenas a quantidade de carbono total do grupo.

O índice modificado de importância relativa (mIRI) das presas foi calculado seguindo a fórmula (Garrido et al. 2008):

$$\text{Equação 2.2.7: mIRI} = \text{FO\% da presa} \times \text{CC\% de cada presa nessa amostra}$$

Para a caracterização das dietas, os valores foram calculados individualmente para o nível taxonómico mais baixo, mas foram agrupados para serem representados graficamente. O critério para a elaboração dos gráficos da caracterização da dieta geral foi o grupo representar mais do que uma espécie e ter uma contribuição na dieta anual de  $\geq 5\%$  de percentagem de conteúdo de carbono em pelo menos uma das dietas ou ser um grupo representativo, como por exemplo o fitoplâncton. Para o gráfico do conteúdo de carbono relativo dos copépodes, as espécies seleccionadas contribuíram com  $\geq 1\%$  na dieta anual de percentagem de conteúdo de carbono. Para a representação gráfica da variação sazonal foram usados a frequência de ocorrência, número de presas médio das amostras, e conteúdo médio de carbono total das amostras de carapau-negrão e cavala.

Para estimar as potenciais diferenças e semelhanças entre as dietas de carapau-negrão e cavala, respectivas épocas do ano, e relações com as presas, foi feita uma análise de componentes



principais (PCA) para a percentagem de conteúdo de carbono (CC%), com os grupos: fitoplâncton, calanoides, outros copépodes, decápodes, ovos de crustáceos, outros crustáceos, gastrópodes, cefalópodes, peixes não identificados, peixes pelágicos (agulhão (*Scomberesox saurus*), cavala, sardinha), peixes de profundidade (mictofídeos e trombeteiro (*Macroramphosus scolopax*)), outros (presas <200µm). A análise de componentes principais (PCA) foi representada graficamente.

Para calcular a diversidade de presas na dieta de carapau-negrão e cavala, utilizou-se a frequência numérica (FN%) e a percentagem de conteúdo de carbono (CC%), correspondente ao nível taxonómico classe ou sub-classe; devido à sua relevância e por terem uma ecologia diferente justificou-se a definição de sub-grupos para os copépodes e peixes. Assim consideraram-se como grupos de presas: copépodes calanoides, copépodes ciclopoides, copépodes harpacticoides, copépodes n.i. (não identificados), eumalacostraca, cirrípedes, ostracodes, crustáceos n.i., bivalves, cefalópodes, gastrópodes, apendicularios, salpas, ovos de peixes, peixes n.i., peixes pelágicos, peixes mesopelágicos (mictofídeos e trombeteiro), tintinídeos, foraminíferos, radiolários, equinodermes, fitoplâncton n.i., dinoflagelados (Dinophyceae), diatomáceas (Bacillariophyceae), coccolitóforos, fitoflagelados. O índice de diversidade de Shannon-Wiener ( $H'$ ) (Brower et al. 1998) foi calculado através da seguinte fórmula:

$$\text{Equação 2.2.8: } H' = - \sum p_i \log_e (p_i)$$

Onde  $p_i$  é a proporção de cada grupo taxonómico em relação a todas as presas de cada amostra. O índice foi calculado para cada amostra de cada espécie; usou-se o *package* “vegan” do R (Okasanen 2015). Para compreender se existia sobreposição das dietas das duas espécies calculou-se o índice de Schoener ( $S$ ) (Schoener 1968; Garrido et al. 2015) seguindo a fórmula:

$$\text{Equação 2.2.9: } S = 1 - 0,5 \left( \sum_{i=1}^n |C_{ij} - C_{ik}| \right)$$

Onde  $C_{ij}$  e  $C_{ik}$  correspondem à percentagem de conteúdo de carbono média anual da presa do tipo  $i$  na dieta do peixe  $j$  e na dieta do peixe  $k$ , respectivamente. O índice varia entre 0 (dietas totalmente distintas) e 1 (dietas com proporções idênticas) e considerou-se que existia sobreposição das dietas quando o índice foi superior a 0,6 (Wallace & Ramsey 1983).

**Tabela 2.3** – Sumário dos testes estatísticos realizados. As variáveis que se testaram e o respectivo teste estatístico. Previamente para todos os testes foram testados os pressupostos, para testar a normalidade usou-se o teste estatístico Shapiro-Wilk e para testar a homogeneidade de variâncias usou-se o Levene test.

Variáveis	Teste estatístico
Intensidade alimentar entre carapau-negrão e cavala	Mann-Whitney U test
Intensidade alimentar entre épocas do carapau-negrão	Kruskal-Wallis rank tests
Intensidade alimentar entre épocas da cavala	Kruskal-Wallis rank tests
$\delta^{15}\text{N}$ entre carapau-negrão e cavala	Mann-Whitney U test
$\delta^{13}\text{C}$ entre carapau-negrão e cavala	Two Sample t-test
$\delta^{15}\text{N}$ entre épocas de carapau-negrão	Kruskal-Wallis rank tests
$\delta^{13}\text{C}$ entre épocas de carapau-negrão	Kruskal-Wallis rank tests
$\delta^{15}\text{N}$ entre épocas de cavala	ANOVA 1 factor
$\delta^{13}\text{C}$ entre épocas de cavala	ANOVA 1 factor



### 2.3. Análise de Isótopos Estáveis

Para estudar a posição trófica do carapau-negrão e da cavala procedeu-se à análise de isótopos de azoto ( $\delta^{15}\text{N}$ ) e carbono ( $\delta^{13}\text{C}$ ) de músculo de 24 indivíduos (Tabela 2.4) e determinaram-se as assinaturas isotópicas de algumas das suas respectivas presas. Para descrever a base da cadeia trófica, além destas análises, utilizaram-se ainda dados de razões isotópicas relativas a fitoplâncton, microzooplâncton e zooplâncton recolhidos no monte submarino Seine, arquipélago submarino Great Meteor e Madeira-Tore, obtidos no âmbito do projecto Biometore durante a campanha de 2016 (Susana Garrido, comunicação pessoal) (a metodologia encontra-se detalhada em <http://biometore.ipma.pt/inicio/inicio>).

**Tabela 2.4** - Amostras de isótopos estáveis de carapau-negrão, cavala, e presas presentes nos estômagos, o tipo de tecido e o número de amostras (n) anual (total) e por época de estudo: Fevereiro-Abril (S1), Maio-Julho (S2), Agosto-Outubro (S3) e Novembro-Janeiro (S4). As amostras de carapau-negrão e cavala foram colhidas, entre Fevereiro de 2017 e Janeiro de 2018, ao largo da ilha da Madeira.

Amostra	Tecido	S1	S2	S3	S4	Total
		n	n	n	n	n
Carapau-negrão	Músculo branco	3	3	3	3	12
Cavala	Músculo branco	3	3	3	3	12
Presas peixe de carapau-negrão	Músculo	1	0	1	0	2
Presas peixe de cavala	Músculo	0	1	2	1	4
<i>Oncaea</i> sp. de cavala	Indivíduos completos	1	0	0	0	1
<i>Brachyura</i> n.i. de cavala	Indivíduos completos	1	0	0	0	1
Microplâncton de cavala	Itens <200µm	3	3	3	3	12

Durante o processamento de carapau-negrão e cavala em laboratório recolheu-se uma amostra de músculo branco (Sweeting et al. 2007) de cada indivíduo, que foi congelada para análise de isótopos estáveis. Para estas análises foram seleccionados três indivíduos por época e espécie (Tabela 2.4). Os indivíduos seleccionados correspondem a indivíduos cujos conteúdos estomacais foram analisados.

Em relação ao músculo de presas peixe encontrado no interior dos estômagos foram recolhidas amostras de duas presas peixe (não identificados) de carapau-negrão e quatro amostras de presas peixe (não identificados) de cavala (Tabela 2.4).

As amostras de músculo de tecido animal (carapau-negrão, cavala e peixes-presas) foram descongeladas e colocadas numa estufa a 50°C durante 48 horas até estarem secas (Post 2002). Posteriormente, cada amostra foi moída num almofariz até se obter um pó homogéneo e colocou-se aproximadamente 1mL num tubo. Como os tecidos musculares podem conter um elevado conteúdo lipídico, e os lípidos são pobres em  $^{13}\text{C}$  comparativamente com outros tecidos, procedeu-se à sua extracção (Post 2002; Post et al. 2007). Adicionou-se a cada amostra uma solução de clorofórmio/metanol (2:1 em volume) em quantidade três a cinco vezes superior ao seu volume, agitou-se durante 30 segundos, deixando-se repousar durante 30 minutos. De seguida, as amostras foram centrifugadas a 3400rpm durante 10 minutos, tendo-se depois retirado o sobrenadante. Repetiu-se o procedimento até o sobrenadante se apresentar incolor, o que aconteceu no máximo ao fim de três repetições deste procedimento. Por fim, colocaram-se as amostras numa estufa a 50°C durante 48 horas (Post et al. 2007; Logan et al. 2008). De cada uma

destas amostras, foram extraídas entre 0,8 a 1,1mg, que foram colocadas em cápsulas de estanho, para determinação das razões isotópicas.

Durante a análise de conteúdos estomacais, procedeu-se à recolha de presas de grupos dominantes de zooplâncton, com o auxílio de uma pinça, para um tubo com água destilada, tendo estas amostras sido posteriormente congeladas. Por limitações de tempo, este procedimento só foi realizado nos meses da época S1 (Fevereiro a Abril), e agruparam-se as amostras colhidas desses meses, de forma a ter a quantidade de massa necessária. O zooplâncton seleccionado foi constituído pelos grupos mais abundantes na dieta, tendo-se juntado vários indivíduos inteiros do mesmo grupo taxonómico (Tieszen et al. 1983; Post 2002; Silberberger et al. 2018). Estes foram liofilizados e de seguida procedeu-se à pesagem (0,8 a 1,1mg), tendo depois sido colocados numa cápsula de estanho. Devido à quantidade insuficiente de massa para análise de isótopos estáveis, só se analisou a infra-ordem Brachyura (ordem Decapoda) e o género *Oncaea* (ordem Cyclopoida) ambos de estômagos de cavala (Tabela 2.4). As amostras de zooplâncton não foram sujeitas à extracção de lípidos, optando-se por utilizar fórmulas de correcção (Post et al. 2007; Smyntek et al. 2007; Logan et al. 2008) depois de obtidos os dados. Também não se seguiu o protocolo de acidificação de amostras (Bode et al. 2004; Mateo et al. 2008; Silberberger et al. 2018), devido à reduzida quantidade de amostra (Rumolo et al. 2016).

Para as análises de isótopos de microplâncton foram seleccionados três amostras por época, num total de 12 (Tabela 2.4). As amostras foram liofilizadas e moídas até obter-se um pó homogéneo, e colocaram-se entre 4,8 a 5,1 mg de cada amostra numa cápsula de estanho.

As análises foram realizadas no CRIE-SIIAF (Centro de Recursos em Isótopos Estáveis – Stable Isotopes and Instrumental Analysis Facility), na Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.

As razões isotópicas  $\delta^{15}\text{N}/\delta^{14}\text{N}$  e  $\delta^{13}\text{C}/\delta^{12}\text{C}$  foram determinadas por espectrometria de massa isotópica de fluxo contínuo (CF-IRMS) (Preston & Owens 1983), num espectrómetro de massas Sercon Hydra 20-22 (Sercon, Reino Unido), acoplado a um analisador elementar EuroEA (EuroVector, Itália), que automatiza a preparação das amostras por combustão de Dumas. Para o cálculo das razões isotópicas de azoto e carbono utilizou-se a fórmula:

$$\text{Equação 2.3.1: } \delta (\text{‰}) = [(R_{\text{amostra}} - R_{\text{padrão}}) / R_{\text{padrão}}] \times 1000$$

Onde R representa o rácio entre o isótopo de massa pesada ( $^{15}\text{N}$  ou  $^{13}\text{C}$ ) e o isótopo de massa leve ( $^{14}\text{N}$  ou  $^{12}\text{C}$ ). Os valores de  $R_{\text{padrão}}$  foram determinados pelos materiais de referência, utilizados pelo CRIE-SIIAF; para tecido animal (carapau-negrão, cavala, presas peixes e zooplâncton) utilizou-se a proteína standard (Casein) OAS/Isotope (Elemental Microanalysis, UK) e para o microplâncton utilizou-se farinha de trigo standard OAS/Isotope (Elemental Microanalysis, UK). Os resultados foram expressos em relação aos materiais de referência internacional:  $\delta^{15}\text{N}$  de azoto atmosférico e  $\delta^{13}\text{C}$  de Vienna Pee Dee Belemnite (V-PDB).

A imprecisão das análises foi calculada usando os valores de seis a nove réplicas de amostras padrão do laboratório, que se encontravam intercaladas com os conjuntos de amostras analisadas; o valor obtido foi igual ou inferior a 0,08‰. Como materiais de referência (secundários) internacionais usou-se USGS-25 e USGS-35 para  $\delta^{15}\text{N}$ , IAEA-CH7 e Glucose-BCR para  $\delta^{13}\text{C}$ .

Os valores de azoto e carbono de zooplâncton foram corrigidos seguindo as fórmulas respectivas (Logan et al. 2008):

$$\text{Equação 2.3.2: } \delta^{15}\text{N}_{\text{sem lípidos}} = 1,018 \times \delta^{15}\text{N}_{\text{amostra}} + 0,020$$

$$\text{Equação 2.3.3: } \delta^{13}\text{C}_{\text{sem lípidos}} = 0,967 \times \delta^{13}\text{C}_{\text{amostra}} + 0,861$$

Os valores de *Brachyura* ( $\delta^{15}\text{N} = 1,74$  e  $\delta^{13}\text{C} = -26,22$ ) foram excluídos, por serem implausíveis, e por isso foram considerados *outliers*.

Para testar se existiam diferenças nas assinaturas isotópicas de carapau-negrão e cavala para  $\delta^{15}\text{N}$  usou-se o Mann-Whitney U test e o Two Sample t-test para  $\delta^{13}\text{C}$ . Para testar as diferenças entre épocas de carapau-negrão utilizou-se o Kruskal-Wallis rank sum test para  $\delta^{15}\text{N}$  e ANOVA 1 factor para  $\delta^{13}\text{C}$ , e o mesmo teste ANOVA 1 factor para  $\delta^{15}\text{N}$  e  $\delta^{13}\text{C}$  para cavala (Tabela 2.3).

Para estimar a posição trófica em que se encontram os peixes pelágicos foi calculado o nível trófico (TP) utilizando a fórmula (Zanden & Rasmussen 2001; Bode et al. 2007):

$$\text{Equação 2.3.4: } \text{TP} = \text{TP}_b + (\delta^{15}\text{N}_c - \delta^{15}\text{N}_{\text{hz}}) / 3,4$$

Onde  $\text{TP}_b$  corresponde à posição trófica do nível de base (neste estudo dois, por se tratar de herbívoros),  $\delta^{15}\text{N}_c$  corresponde ao  $\delta^{15}\text{N}$  do consumidor,  $\delta^{15}\text{N}_{\text{hz}}$  corresponde ao  $\delta^{15}\text{N}_{\text{médio}}$  de microplâncton da época respectiva do consumidor (Tiselius & Fransson 2016) e 3,4 corresponde ao valor médio de fraccionamento isotópico entre um nível trófico e o nível seguinte (Post 2002).

Apesar do valor de fraccionamento isotópico (TEF) atribuído usualmente ser o de Post 2002 ( $\delta^{15}\text{N}=3,4\text{‰}$ ), calculou-se também o nível trófico considerando um valor de fraccionamento de  $\delta^{15}\text{N}=1,6\text{‰}$ , determinado por Bode et al. 2007, para músculo de sardinha na costa Atlântica da Península Ibérica.

Para calcular e comparar os nichos isotópicos da dieta de cada uma das espécies, utilizou-se o *package* “SIBER” (Jackson et al. 2011). Foram calculadas a: área total do nicho (TA); elipse da área standard (SEA), que corresponde a 95% dos dados; e a elipse da área standard corrigida (SEAc), que corresponde a 40% dos dados. Posteriormente, utilizou-se a função *maxLikOverlap* para estimar a área de sobreposição das duas espécies e para estimar a percentagem de sobreposição (% Sobreposição) dos nichos usou-se a seguinte fórmula (Aguilar 2016):

$$\text{Equação 2.3.5: } \% \text{ Sobreposição} = \frac{S}{(A1-S)+A2} \times 100$$

Onde A1 e A2 representam as áreas de cada espécie, calculadas pela função *maxLikOverlap*, e S a área de sobreposição dos nichos.

Todas as análises estatísticas foram efectuadas com recurso ao *software* R versão 3.5.1 (R Development Core Team 2018).

### 3. RESULTADOS

#### 3.1. Caracterização da amostra populacional

No total, neste estudo foram processados 327 peixes: 143 carapaus-negrão e 184 cavalas (Tabela 2.1), estando as características dos exemplares apresentados na Tabela 3.1.

**Tabela 3.1** - Valores médios ( $\pm$ desvio-padrão) de comprimento total médio (cm), peso total médio (g) e índice gonadossomático médio (%), por ano (Anual) e por épocas do ano: Fevereiro-Abril (S1), Maio-Julho (S2), Agosto-Outubro (S3) e Novembro-Janeiro (S4) das espécies carapau-negrão e cavala. n: número de indivíduos medidos.

	Carapau-negrão					Cavala				
	S1 n=60	S2 n=39	S3 n=24	S4 n=20	Anual n=143	S1 n=60	S2 n=41	S3 n=43	S4 n=40	Anual n=184
<b>Comprimento total (cm)</b>	20,7 $\pm 1,6$	20,0 $\pm 0,7$	19,6 $\pm 1,8$	19,6 $\pm 1,0$	20,2 $\pm 1,4$	22,6 $\pm 1,8$	23,1 $\pm 2,7$	21,2 $\pm 2,3$	22,5 $\pm 1,3$	22,4 $\pm 2,2$
<b>Peso total (g)</b>	74,8 $\pm 16,8$	65,8 $\pm 7,7$	62,1 $\pm 18,7$	55,3 $\pm 8,8$	67,5 $\pm 15,8$	98,3 $\pm 26,9$	101,6 $\pm 38,4$	76,9 $\pm 31,8$	83,4 $\pm 16,0$	90,8 $\pm 30,7$
<b>Índice gonadossomático (%)</b>	0,9 $\pm 0,7$	0,3 $\pm 0,2$	0,1 $\pm 0,1$	2,4 $\pm 1,3$	0,8 $\pm 1,0$	2,7 $\pm 2,5$	0,3 $\pm 0,3$	0,1 $\pm 0,1$	2,3 $\pm 3,0$	1,5 $\pm 2,3$
<b>Intensidade alimentar (%)</b>	0,4 $\pm 0,3$	0,3 $\pm 0,1$	1,0 $\pm 1,3$	0,6 $\pm 0,5$	0,5 $\pm 0,7$	1,0 $\pm 0,9$	1,5 $\pm 1,6$	4,0 $\pm 3,8$	1,5 $\pm 0,7$	1,9 $\pm 2,4$

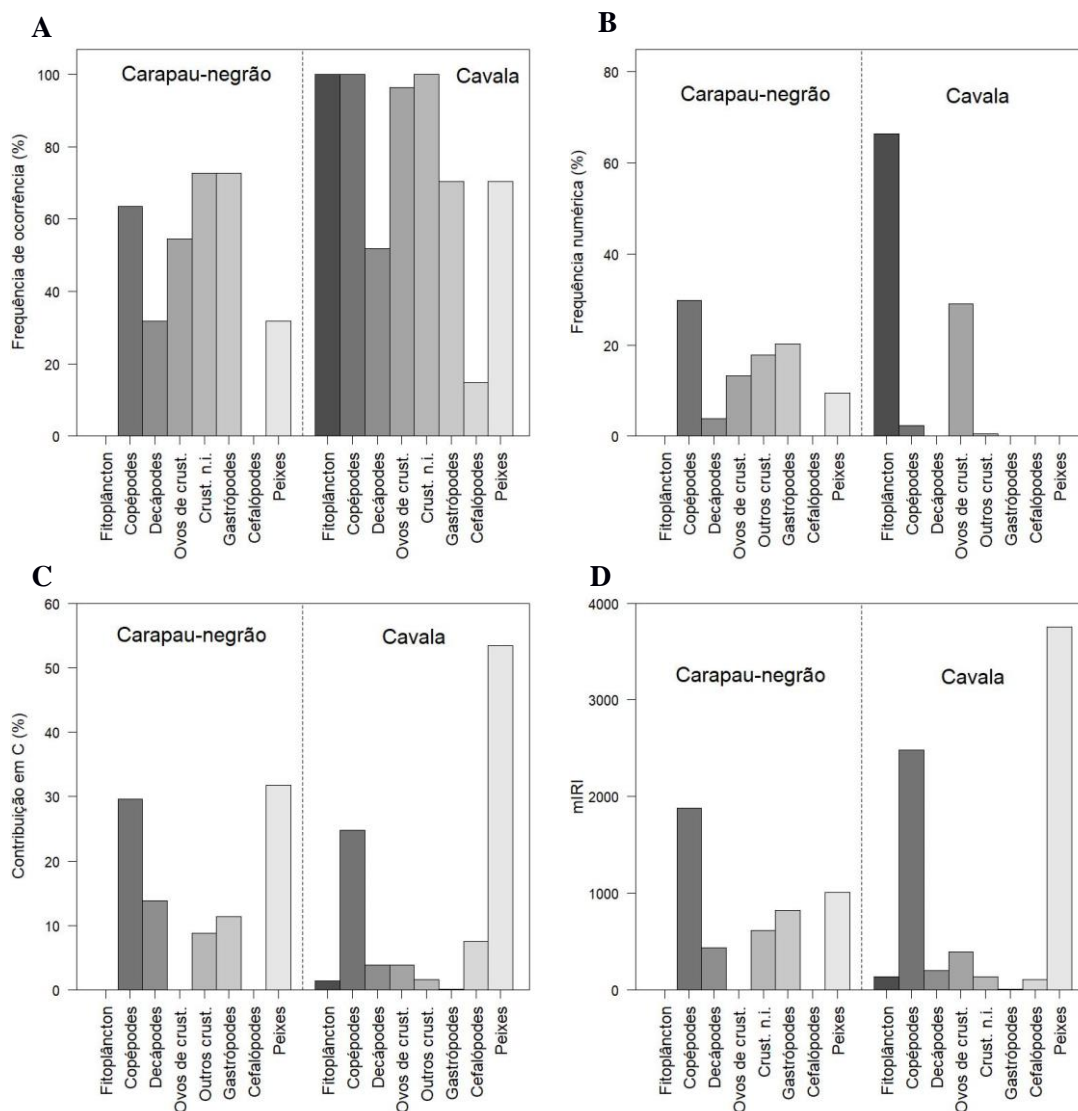
O comprimento total do carapau-negrão variou entre 15,3cm (19/09/2017) e 24,8cm (3/10/2017), e não variaram ao longo do ano (Tabela 3.1) (Fig. S1.1). O peso total variou entre 27,6g (19/09/2017) e 123,6g (3/10/2017). O índice gonadossomático máximo foi 6,6% (23/01/2018) e os meses de Janeiro e Fevereiro apresentaram o índice gonadossomático mais alto (Fig. S1.2). Por outro lado, o comprimento total da cavala variou entre 17,2cm (19/09/2017) e 28,1cm (3/10/2017) e os comprimentos médios das épocas variaram pouco ao longo do ano (Tabela 3.1) (Fig. S1.1). O peso total variou entre 34,7g (19/09/2017) e 195,5g (3/10/2017). O índice gonadossomático máximo foi 12,7% (23/01/2018) e os meses com valor médio mais alto foram Janeiro, Fevereiro e Março (Fig. S1.2).

A intensidade alimentar (FI) variou entre  $<0,1\%$  e 4,6% para o carapau-negrão e, 0,2% e 15,2% para cavala, sendo significativamente superiores nesta última espécie (Mann-Whitney U test:  $W=22740$ ,  $p < 0,001$ ) (Tabela 3.1). Observaram-se diferentes intensidades alimentares entre épocas no carapau-negrão (Kruskal-Wallis rank tests:  $\chi^2=20,0$  df= 3,  $p < 0,001$ ) e na cavala (Kruskal-Wallis rank tests:  $\chi^2=36,1$ , df= 3,  $p < 0,001$ ). Para ambas as espécies a época S3 (Agosto a Outubro) foi a que apresentou valores médios mais elevados e o padrão de variação ao longo do ano foi semelhante entre as duas espécies.

O índice de vacuidade (VI) anual para o carapau-negrão foi de 4,6% e 0% para a cavala; só uma das amostras de carapau-negrão, da época S1 (Fevereiro-Abril), estava vazia.

### 3.2. Caracterização da dieta de carapau-negrão e de cavala

No total, foram analisadas 22 amostras, correspondente a 66 estômagos, de carapau-negrão e 27 amostras de cavala, o correspondente a 81 estômagos.



**Figura 3.1** - (A) Frequência de ocorrência (FO%) anual, (B) frequência numérica (FN%) anual (média), (C) percentagem de conteúdo de carbono (CC%) anual (médio) e (D) índice de importância relativa modificado (mIRI) anual (médio) dos principais grupos de presas das espécies carapau-negrão e cavala. crust.: crustáceos; n.i.: não identificados.

**Tabela 3.2** - Frequência de ocorrência (FO%) e frequência numérica (FN%) (média) das principais presas nos estômagos de carapau-negrão e cavala, capturados ao largo da ilha da Madeira entre 2017 e 2018, representados como dieta anual (Anual) e por épocas do ano: Fevereiro-Abril (S1), Maio-Julho (S2), Agosto-Outubro (S3) e Novembro-Janeiro (S4). n: número de amostras analisadas. n.i.: não identificado. -: não analisado.

Taxa	Carapau-negrão					Cavala					Carapau-negrão					Cavala				
	FO%	FO%	FO%	FO%	FO%	FO%	FO%	FO%	FO%	FO%	FN%	FN%	FN%	FN%	FN%	FN%	FN%	FN%	FN%	FN%
	S1	S2	S3	S4	Anual	S1	S2	S3	S4	Anual	S1	S2	S3	S4	Anual	S1	S2	S3	S4	Anual
<200µm	n=9	n=6	n=4	n=3	n=22	n=2	n=1	n=3	n=2	n=8	n=9	n=6	n=4	n=3	n=22	n=9	n=6	n=6	n=6	n=27
>200µm	n=9	n=6	n=4	n=3	n=22	n=9	n=6	n=6	n=6	n=27	n=9	n=6	n=4	n=3	n=22	n=9	n=6	n=6	n=6	n=27
<b>FITOPLÂNCTON total</b>	-	-	-	-	-	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	-	-	-	-	-	<b>92,9</b>	<b>7,0</b>	<b>74,7</b>	<b>77,8</b>	<b>66,4</b>
n.i.	-	-	-	-	-	100	100	0	0	37,5	-	-	-	-	-	23,4	0,4	0	0	7,9
Chromista																				
<b>Dinophyceae total</b>	-	-	-	-	-	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	-	-	-	-	-	<b>44,2</b>	<b>6,3</b>	<b>42,8</b>	<b>54,8</b>	<b>37,8</b>
<b>Bacillariophyceae total</b>	-	-	-	-	-	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	-	-	-	-	-	<b>17,5</b>	<b>0,2</b>	<b>4,7</b>	<b>11,9</b>	<b>9,6</b>
Protozoa																				
<i>Coccolithophora</i> sp.	-	-	-	-	-	50,0	0	100	50,0	62,5	-	-	-	-	-	6,1	0	27,1	11,1	10,5
<b>ZOOPLÂNCTON</b>																				
Ciliophora																				
Oligotrichea																				
Tintinnina n.i.	-	-	-	-	-	50,0	100	66,7	50,0	62,5	-	-	-	-	-	0,9	0,1	0,4	3,0	1,1
Echinodermata n.i. (larva)	-	-	-	-	-	50,0	0	0	50,0	25,0	-	-	-	-	-	0,1	0	0	0,4	0,1
<b>Crustacea total</b>	<b>77,8</b>	<b>83,3</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>86,4</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>59,2</b>	<b>49,3</b>	<b>78,2</b>	<b>98,0</b>	<b>65,2</b>	<b>5,4</b>	<b>92,9</b>	<b>24,7</b>	<b>18,8</b>	<b>32,1</b>
n.i.	66,7	66,7	75,0	100	72,7	100	100	100	100	100	27,2	4,6	13,3	18,9	17,4	0,6	<0,1	0,4	0,7	0,4
Ovos n.i.	44,4	33,3	100	66,7	54,6	88,9	100	100	100	96,3	6,1	10,4	37,2	8,5	13,3	1,9	92,5	22,9	12,9	29,1
Postura n.i.	0	0	0	0	0	0	50,0	33,3	66,7	33,3	0	0	0	0	0	0	<0,1	<0,1	0,1	<0,1
<b>Copepoda total</b>	<b>55,6</b>	<b>66,7</b>	<b>50,0</b>	<b>100</b>	<b>63,6</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>22,2</b>	<b>30,9</b>	<b>14,7</b>	<b>70,3</b>	<b>29,8</b>	<b>2,8</b>	<b>0,4</b>	<b>0,9</b>	<b>5,1</b>	<b>2,4</b>
Copepoda n.i.	55,6	66,7	25,0	100	59,1	100	100	100	100	100	15,3	19,1	4,7	49,6	19,1	0,9	0,1	0,2	1,5	0,7
<b>Calanoida total</b>	<b>33,3</b>	<b>33,3</b>	<b>50,0</b>	<b>66,7</b>	<b>40,9</b>	<b>66,7</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>88,9</b>	<b>4,1</b>	<b>0,8</b>	<b>9,6</b>	<b>19,4</b>	<b>6,3</b>	<b>0,3</b>	<b>&lt;0,1</b>	<b>0,1</b>	<b>0,9</b>	<b>0,3</b>
<b>Cyclopoida total</b>	<b>33,3</b>	<b>33,3</b>	<b>25,0</b>	<b>66,7</b>	<b>36,4</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>2,8</b>	<b>11,0</b>	<b>0,46</b>	<b>1,3</b>	<b>4,4</b>	<b>1,7</b>	<b>0,2</b>	<b>0,5</b>	<b>2,4</b>	<b>1,3</b>
Harpacticoida n.i.	0	0	0	0	0	11,1	33,3	83,3	50,0	40,7	0	0	0	0	0	<0,1	<0,1	0,1	0,2	0,1
<b>Eumalacostraca total</b>	<b>33,3</b>	<b>16,7</b>	<b>75,0</b>	<b>33,3</b>	<b>36,4</b>	<b>44,4</b>	<b>50,0</b>	<b>100</b>	<b>50,0</b>	<b>59,3</b>	<b>3,7</b>	<b>3,3</b>	<b>13,0</b>	<b>0,3</b>	<b>4,8</b>	<b>0,1</b>	<b>&lt;0,1</b>	<b>0,4</b>	<b>0,1</b>	<b>0,2</b>
<b>Decapoda total</b>	<b>22,2</b>	<b>16,7</b>	<b>75,0</b>	<b>33,3</b>	<b>31,8</b>	<b>44,4</b>	<b>50,0</b>	<b>100</b>	<b>16,7</b>	<b>51,9</b>	<b>2,7</b>	<b>3,3</b>	<b>9,5</b>	<b>0,3</b>	<b>3,8</b>	<b>0,1</b>	<b>&lt;0,1</b>	<b>0,1</b>	<b>&lt;0,1</b>	<b>0,1</b>
Ostracoda n.i.	0	0	0	0	0	0	33,3	0	0	7,4	0	0	0	0	0	0	<0,1	0	0	<0,1
Thecostraca																				
Cirripedia	0	0	0	0	0	0	16,7	0	0	3,7	0	0	0	0	0	0	<0,1	0	0	<0,1
<b>Mollusca total</b>	<b>77,8</b>	<b>100</b>	<b>50,0</b>	<b>33,3</b>	<b>72,7</b>	<b>55,6</b>	<b>83,3</b>	<b>100</b>	<b>50,0</b>	<b>70,4</b>	<b>20,3</b>	<b>39,1</b>	<b>8,3</b>	<b>2,0</b>	<b>20,7</b>	<b>0,1</b>	<b>&lt;0,1</b>	<b>0,2</b>	<b>0,1</b>	<b>0,1</b>
Bivalvia n.i.	11,1	0	0	0	4,6	11,1	50,0	50,0	16,7	29,6	1,0	0	0	0	0,42	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Cephalopoda n.i.	0	0	0	0	0	11,1	16,7	0	33,3	14,8	0	0	0	0	0	<0,1	<0,1	0	<0,1	<0,1
<b>Gastropoda total</b>	<b>77,8</b>	<b>100</b>	<b>50,0</b>	<b>33,3</b>	<b>72,7</b>	<b>55,6</b>	<b>83,3</b>	<b>100</b>	<b>50,0</b>	<b>70,4</b>	<b>19,2</b>	<b>39,1</b>	<b>8,3</b>	<b>2,0</b>	<b>20,3</b>	<b>0,1</b>	<b>&lt;0,1</b>	<b>0,2</b>	<b>0,1</b>	<b>0,1</b>
<b>Tunicata total</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>22,2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>7,4</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>&lt;0,1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>&lt;0,1</b>

<b>PISCES total</b>	<b>33,3</b>	<b>33,3</b>	<b>50,0</b>	<b>0</b>	<b>31,8</b>	<b>44,4</b>	<b>50,0</b>	<b>100</b>	<b>83,3</b>	<b>70,4</b>	<b>9,5</b>	<b>11,7</b>	<b>13,4</b>	<b>0</b>	<b>9,5</b>	<b>&lt;0,1</b>	<b>&lt;0,1</b>	<b>&lt;0,1</b>	<b>&lt;0,1</b>	<b>&lt;0,1</b>
n.i.	22,2	33,3	25,0	0	22,7	22,2	50,0	33,3	16,7	29,6	7,4	11,7	1,5	0	6,5	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Ovos n.i.	0	0	0	0	0	22,2	33,3	16,7	50,0	29,6	0	0	0	0	0	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Myctophidae	11,1	0	0	0	4,6	0	0	16,7	0	3,7	2,0	0	0	0	0,8	0	0	<0,1	0	<0,1
<i>Macroramphosus scolopax</i>	0	0	50,0	0	9,1	0	0	16,7	0	3,7	0	0	10,5	0	1,9	0	0	<0,1	0	<0,1
<i>Sardina pilchardus</i>	0	0	25,0	0	0	0	0	0	16,7	3,7	0	0	1,4	0	0,3	0	<0,1	0	<0,1	<0,1
<i>Scomber colias</i>	0	0	0	0	0	0	0	33,3	16,7	11,1	0	0	0	0	0	0	0	<0,1	<0,1	<0,1
<i>Scomberesox saurus</i>	0	0	0	0	0	0	0	50,0	0	11,1	0	0	0	0	0	0	0	<0,1	0	<0,1

**Tabela 3.3** - Percentagem de conteúdo de carbono (CC%) (média) e índice de importância relativo modificado (mIRI) (médio) das principais presas nos estômagos de carapau-negrão e cavala, capturados ao largo da ilha da Madeira entre 2017 e 2018, representados como dieta anual (Anual) e por épocas do ano: Fevereiro-Abril (S1), Maio-Julho (S2), Agosto-Outubro (S3) e Novembro-Janeiro (S4). n: número de amostras analisadas. n.i.: não identificado. -: não analisado.

Taxa	Carapau-negrão					Cavala					Carapau-negrão					Cavala				
	CC%	CC%	CC%	CC%	CC%	CC%	CC%	CC%	CC%	CC%	mIRI	mIRI	mIRI	mIRI	mIRI	mIRI	mIRI	mIRI	mIRI	mIRI
	S1 n=9	S2 n=6	S3 n=4	S4 n=3	Anual n=22	S1 n=9	S2 n=6	S3 n=6	S4 n=6	Anual n=27	S1 n=9	S2 n=6	S3 n=4	S4 n=3	Anual n=22	S1 n=9	S2 n=6	S3 n=6	S4 n=6	Anual n=27
<b>FITOPLÂNCTON total</b>	-	-	-	-	-	<b>3,8</b>	<b>0,3</b>	<b>&lt;0,1</b>	<b>0,2</b>	<b>1,4</b>	-	-	-	-	-	<b>382,1</b>	<b>29,7</b>	<b>0,4</b>	<b>16,0</b>	<b>137,6</b>
n.i.	-	-	-	-	-	0,6	<0,1	0	0	0,2	-	-	-	-	-	61,1	0,7	0	0	11,4
Chromista																				
<b>Dinophyceae total</b>	-	-	-	-	-	<b>2,8</b>	<b>0,3</b>	<b>&lt;0,1</b>	<b>0,1</b>	<b>1,0</b>	-	-	-	-	-	<b>274,5</b>	<b>28,5</b>	<b>0,4</b>	<b>14,0</b>	<b>101,0</b>
<b>Bacillariophyceae total</b>	-	-	-	-	-	<b>0,3</b>	<b>&lt;0,1</b>	<b>&lt;0,1</b>	<b>&lt;0,1</b>	<b>0,1</b>	-	-	-	-	-	<b>27,2</b>	<b>0,2</b>	<b>&lt;0,1</b>	<b>0,7</b>	<b>9,3</b>
Protozoa																				
<i>Coccolithophora</i> sp.	-	-	-	-	-	0,2	0	<0,1	<0,1	0,1	-	-	-	-	-	13,4	0	0,1	1,1	3,8
<b>ZOOPLÂNCTON</b>																				
Ciliophora																				
Oligotrichea																				
Tintinnina n.i.	-	-	-	-	-	4,0	0,1	<0,1	0,4	1,4	-	-	-	-	-	353,7	11,2	0,2	34,1	128,3
Echinodermata n.i. (larva)	-	-	-	-	-	4,5	0	0	0,5	1,6	-	-	-	-	-	399,2	0	0	44,6	77,8
<b>Crustacea total</b>	<b>49,1</b>	<b>35,3</b>	<b>49,4</b>	<b>99,4</b>	<b>52,3</b>	<b>59,5</b>	<b>33,0</b>	<b>0,3</b>	<b>31,8</b>	<b>34,3</b>	<b>3821,3</b>	<b>2945,0</b>	<b>4939,3</b>	<b>9937,0</b>	<b>4514,1</b>	<b>5948,0</b>	<b>3297,3</b>	<b>31,2</b>	<b>3182,4</b>	<b>3429,6</b>
n.i.	15,0	3,1	0,5	10,9	8,5	3,3	0,5	<0,1	0,7	1,4	998,4	204,3	36,1	1093,5	621,2	330,9	47,7	0,8	67,9	136,2
Ovos n.i.	<0,1	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,4	16,7	<0,1	0,5	4,0	0,7	2,2	0,9	1,2	1,5	42,8	1664,9	1,3	46,1	394,9
Postura n.i.	0	0	0	0	0	0	0,1	<0,1	0,1	<0,1	0	0	0	0	0	0	3,2	<0,1	3,1	0,8
<b>Copepoda total</b>	<b>18,3</b>	<b>32,2</b>	<b>9,7</b>	<b>84,6</b>	<b>29,6</b>	<b>44,2</b>	<b>14,6</b>	<b>0,1</b>	<b>31,0</b>	<b>24,8</b>	<b>1016,1</b>	<b>2147,1</b>	<b>486,1</b>	<b>8460,6</b>	<b>1881,7</b>	<b>4419,1</b>	<b>1463,5</b>	<b>8,5</b>	<b>3059,2</b>	<b>2479,9</b>
Copepoda n.i.	10,3	16,5	1,1	38,4	14,1	12,0	2,9	<0,1	6,8	6,2	571,7	1098,3	26,6	3836,2	834,8	1199,0	293,6	1,0	682,6	618,8
<b>Calanoida total</b>	<b>7,5</b>	<b>9,7</b>	<b>8,2</b>	<b>46,1</b>	<b>13,5</b>	<b>26,0</b>	<b>7,7</b>	<b>&lt;0,1</b>	<b>17,3</b>	<b>14,2</b>	<b>249,1</b>	<b>322,2</b>	<b>411,4</b>	<b>3072,7</b>	<b>551,3</b>	<b>1732,4</b>	<b>765,3</b>	<b>3,8</b>	<b>1728,3</b>	<b>1263,3</b>
<b>Cyclopoida total</b>	<b>0,5</b>	<b>6,1</b>	<b>0,4</b>	<b>0,2</b>	<b>2,0</b>	<b>6,2</b>	<b>4,0</b>	<b>&lt;0,1</b>	<b>5,3</b>	<b>4,1</b>	<b>17,5</b>	<b>202,2</b>	<b>10,7</b>	<b>10,2</b>	<b>71,5</b>	<b>615,8</b>	<b>398,9</b>	<b>2,8</b>	<b>531,3</b>	<b>412,6</b>

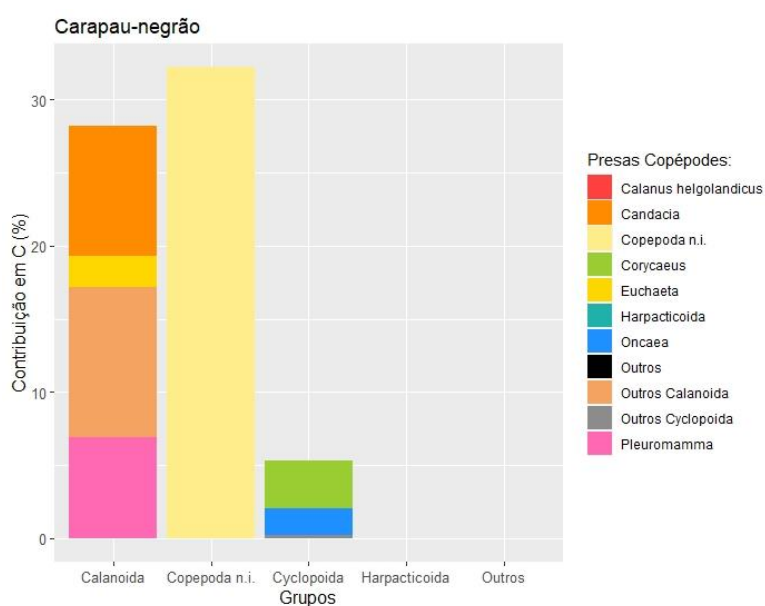
Harpacticoida n.i.	0	0	0	0	0	<0,1	0,1	<0,1	1,2	0,3	0	0	0	0	0	<0,1	1,9	0,7	58,5	11,2
<b>Eumalacostraca total</b>	<b>15,9</b>	<b>&lt;0,1</b>	<b>39,2</b>	<b>3,8</b>	<b>14,1</b>	<b>11,6</b>	<b>1,1</b>	<b>0,2</b>	<b>&lt;0,1</b>	<b>4,2</b>	<b>528,4</b>	<b>0,1</b>	<b>2938,7</b>	<b>127,0</b>	<b>513,8</b>	<b>513,5</b>	<b>54,5</b>	<b>20,7</b>	<b>2,0</b>	<b>245,8</b>
<b>Decapoda total</b>	<b>15,9</b>	<b>&lt;0,1</b>	<b>37,7</b>	<b>3,8</b>	<b>13,9</b>	<b>10,7</b>	<b>1,1</b>	<b>0,2</b>	<b>&lt;0,1</b>	<b>3,9</b>	<b>352,1</b>	<b>0,1</b>	<b>2829,8</b>	<b>127,0</b>	<b>441,1</b>	<b>476,7</b>	<b>54,4</b>	<b>18,6</b>	<b>0,61</b>	<b>200,5</b>
Ostracoda n.i.	0	0	0	0	0	0	0,1	0	0	<0,1	0	0	0	0	0	0	2,0	0	0	0,1
Thecostraca																				
Cirripedia	0	0	0	0	0	0	<0,1	0	0	<0,1	0	0	0	0	0	0	<0,1	0	0	<0,1
<b>Mollusca total</b>	<b>6,5</b>	<b>31,3</b>	<b>0,6</b>	<b>0,6</b>	<b>11,4</b>	<b>3,6</b>	<b>8,4</b>	<b>&lt;0,1</b>	<b>21,3</b>	<b>7,8</b>	<b>501,8</b>	<b>3133,0</b>	<b>30,5</b>	<b>21,0</b>	<b>827,7</b>	<b>198,9</b>	<b>696,1</b>	<b>0,9</b>	<b>1065,0</b>	<b>547,8</b>
Bivalvia n.i.	<0,1	0,00	0,00	0,00	<0,1	<0,1	0,2	<0,1	<0,1	<0,1	0,1	0	0	0	<0,1	<0,1	7,6	0,1	<0,1	1,0
Cephalopoda n.i	0	0	0	0	0	3,2	8,1	0	21,3	7,6	0	0	0	0	0	35,1	135,6	0	710,0	112,5
<b>Gastropoda total</b>	<b>6,5</b>	<b>31,3</b>	<b>0,6</b>	<b>0,6</b>	<b>11,4</b>	<b>0,4</b>	<b>0,1</b>	<b>&lt;0,1</b>	<b>&lt;0,1</b>	<b>0,2</b>	<b>501,4</b>	<b>3133,0</b>	<b>30,5</b>	<b>21,0</b>	<b>827,5</b>	<b>23,4</b>	<b>5,3</b>	<b>0,7</b>	<b>0,1</b>	<b>11,0</b>
<b>Tunicata total</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,1</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>3,0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0,3</b>
<b>PISCES total</b>	<b>33,3</b>	<b>33,3</b>	<b>50,0</b>	<b>0</b>	<b>31,8</b>	<b>24,4</b>	<b>58,3</b>	<b>99,7</b>	<b>45,8</b>	<b>53,4</b>	<b>1110,2</b>	<b>1111,0</b>	<b>2499,9</b>	<b>0</b>	<b>1012,0</b>	<b>1082,3</b>	<b>2913,2</b>	<b>9967,3</b>	<b>3814,3</b>	<b>3756,8</b>
n.i.	22,2	33,3	7,1	0	19,5	19,0	41,7	33,2	11,9	25,6	493,8	1111,0	176,5	0	442,4	422,0	2083,2	1107,4	198,5	759,1
Ovos n.i.	0	0	0	0	0	5,4	<0,1	<0,1	0,6	1,9	0	0	0	0	0	119,2	0,1	<0,1	30,0	56,9
Myctophidae	11,1	0	0	0	4,5	0	0	<0,1	0	<0,1	123,2	0	0	0	20,6	0	0	0,2	0	<0,1
<i>Macroramphosus scolopax</i>	0	0	30,2	0	5,5	0	0	16,6	0	3,7	0	0	1511,2	0	50,0	0	0	276,7	0	13,7
<i>Sardina pilchardus</i>	0	0	12,7	0	2,3	0	16,6	0	16,7	7,4	0	0	317,8	0	10,51	0	276,6	0	277,7	54,7
<i>Scomber colias</i>	0	0	0	0	0	0	0	10,3	16,6	6,0	0	0	0	0	0	0	0	343,6	276,7	66,4
<i>Scomberesox saurus</i>	0	0	0	0	0	0	0	39,5	0	8,8	0	0	0	0	0	0	0	1976,6	0	97,6



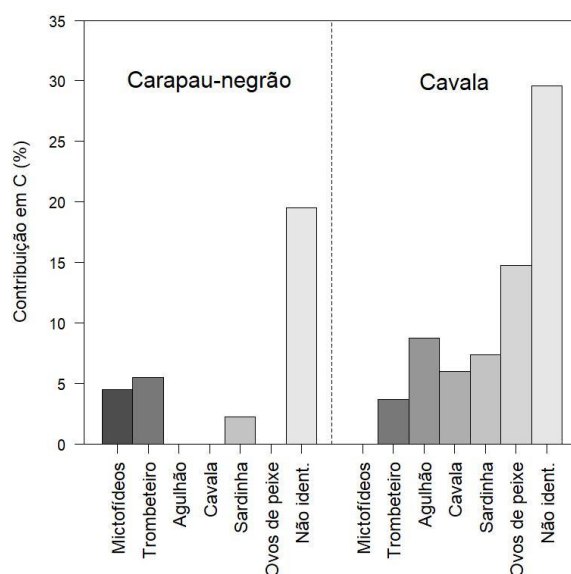
### 3.2.1. Caracterização da dieta do carapau-negrão

Os grupos mais frequentes nas amostras de carapau-negrão foram crustáceos não identificados e gastrópodes, ambos com FO%=72,7%, e copépodes (FO%=63,6%) (Tabela 3.2; Fig. 3.1A).

Relativamente à frequência numérica (FN%), o número de presas nas amostras de carapau-negrão variou entre 0 e 145. As frequências numéricas mais elevadas foram observadas nos copépodes (FN%= 30,6±29,2%) e gastrópodes (FN%=17,6±21,3%) (Tabela 3.2; Fig. 3.1B). As presas mais numerosas foram os copépodes não identificados, crustáceos não identificados, pterópodes, ovos de crustáceos e peixes não identificados (Tabela 3.2).



**Figura 3.2** - Conteúdo de carbono (CC%) anual (médio) relativo de copépodes da dieta de carapau-negrão. n.i.: não identificados.



**Figura 3.3** - Conteúdo de carbono (CC%) anual (médio) relativo de peixes da dieta de carapau-negrão e cavala. Não ident.: não identificados.

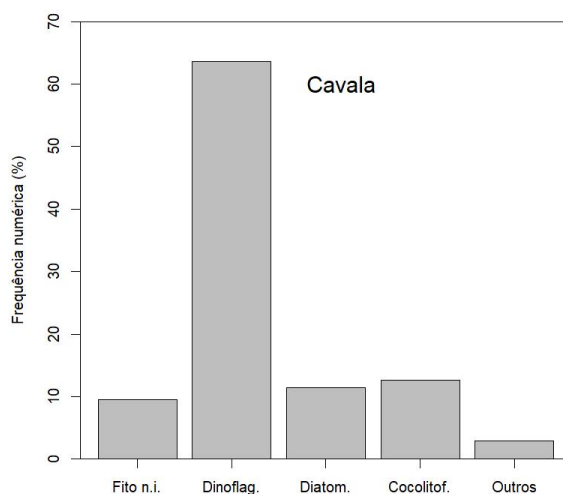
O conteúdo de carbono na dieta de carapau-negrão variou entre 0 e 738,41mg e o valor médio anual foi 78,9±166,0mg. As presas com maior contribuição em carbono para a dieta foram os crustáceos (CC%=52,3±44,6%), principalmente copépodes (CC%=29,6±35,6%) e decápodes (CC%=13,9±29,3%) (Tabela 3.3; Fig. 3.1C). Os peixes (CC%=31,8±46,6%) foram a segunda presa que mais contribuiu para a dieta, bem como os gastrópodes, que também tiveram uma contribuição significativa (CC%=11,4±22,4%). Dentro da contribuição de conteúdo de carbono relativa somente aos grupos dos copépodes, os não identificados (CC%=32,2±38,7%) e os calanoides (CC%=28,2±35,9%) foram os que mais contribuíram (Tabela 3.3; Fig. 3.2) destacando-se dois gêneros: *Candacia* sp. (CC%=8,9±20,7%) e *Pleuromamma* sp. (CC%=6,9±18,1%). Relativamente aos peixes a maior contribuição foi de peixes não identificados (CC%=19,5±38,4%), mas os mictofídeos (CC%=4,5±20,8%) e o trombeteiro (CC%=5,5±21,1%) também foram importantes (Tabela 3.3; Fig. 3.3).

De acordo com o índice de importância relativa modificado (mIRI) médio anual as presas mais importantes da dieta do carapau-negrão foram os crustáceos (mIRI de 4514,1), dentro deste os copépodes foram o grupo com o mIRI mais elevado (mIRI 1881,7); o mIRI ainda destacou como presas importantes os peixes e os gastrópodes (mIRI superior a 800) (Tabela 3.3; Fig. 3.1D).

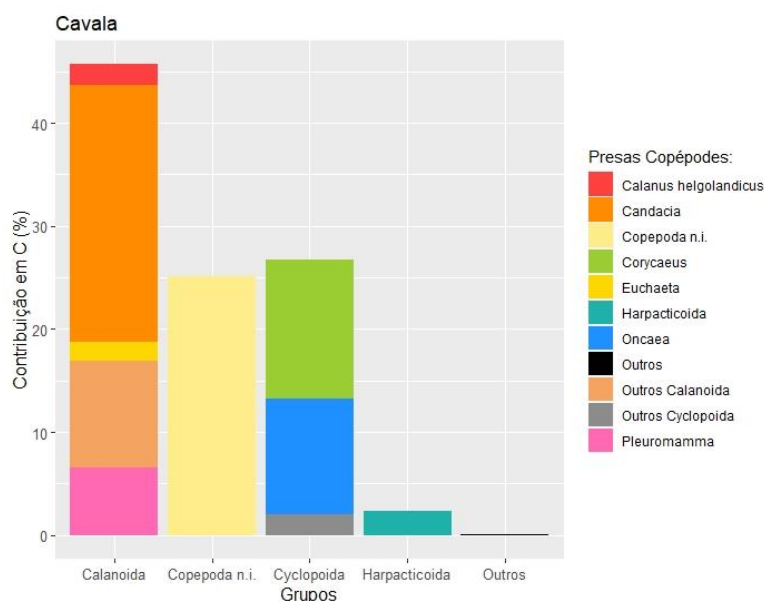
### 3.2.2. Caracterização da dieta da cavala

Quanto à dieta da cavala, em quase todos os grupos, as presas apresentaram frequências de ocorrência (FO%) altas. Tanto o fitoplâncton, como os crustáceos (crustáceos não identificados e copépodes) estiveram presentes em todas as amostras (Tabela 3.2; Fig. 3.1A).

O número de indivíduos nas amostras de cavala variou entre 603 e 50648. Os grupos com frequências numéricas mais elevadas foram o fitoplâncton (FN%=66,4±33,7%), principalmente dinoflagelados não identificados, cocolitóforos, diatomáceas não identificadas e fitoplâncton não identificado (Tabela 3.2; Fig. 3.1B; Fig. 3.4); e os ovos de crustáceos (FN%=29,1±35,8%). Os restantes grupos apresentaram frequências numéricas inferiores a 2% (Tabela 3.2.; Fig. 3.1B). Dentro do fitoplâncton, os dinoflagelados foram o grupo dominante da dieta da cavala (Fig. 3.4).



**Figura 3.4** - Frequência numérica (FN%) anual (média) relativa somente aos principais grupos de presas <200µm de cavala: fitoplâncton não identificado (Fito n.i.), dinoflagelados (Dinoflag.), diatomáceas (Diatom.), cocolitóforos (Cocolitof.).



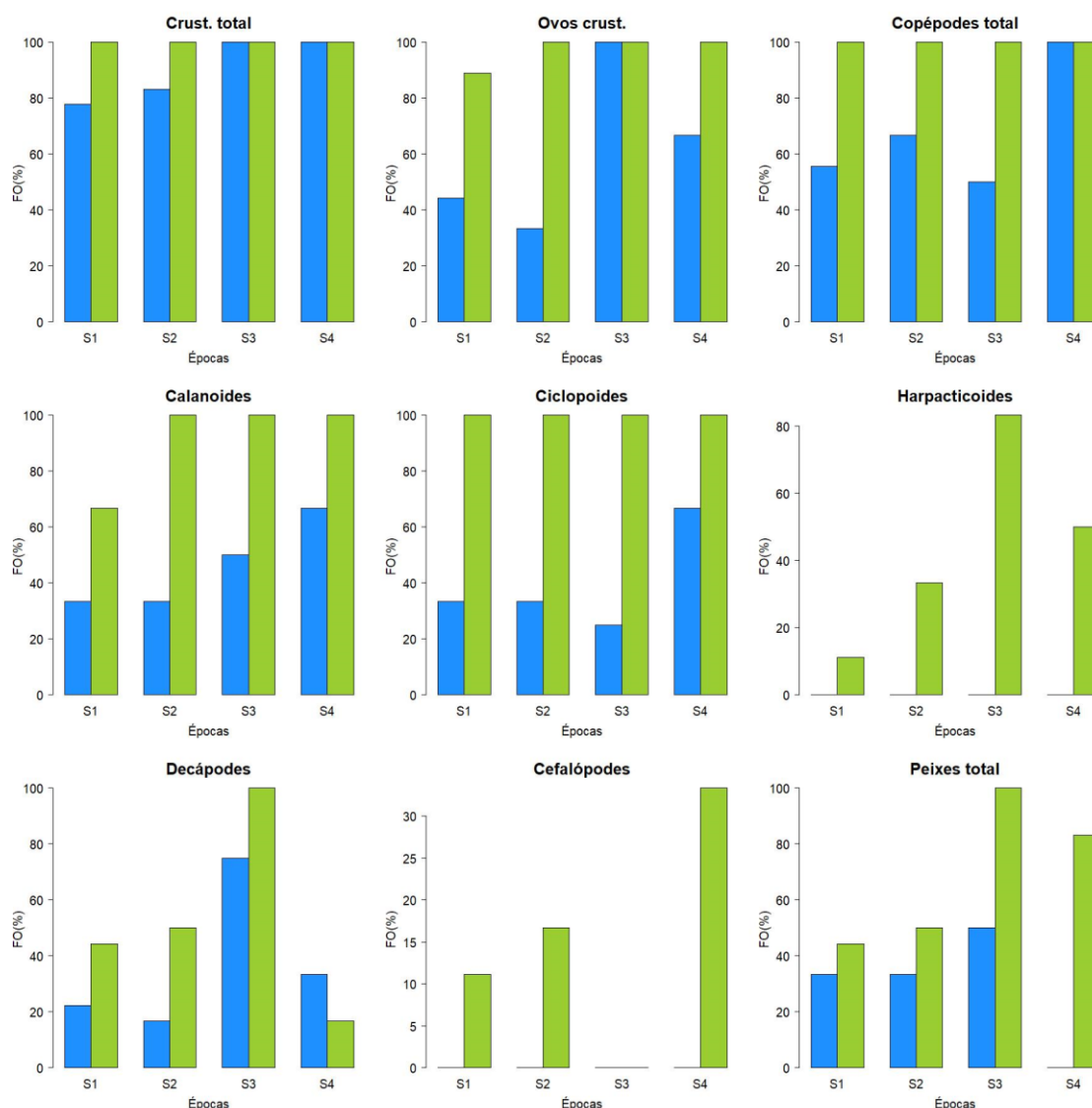
**Figura 3.5** - Conteúdo de carbono (CC%) anual (médio) relativo de copépodes da dieta de cavala. n.i.: não identificados.

O conteúdo de carbono nas amostras de cavala variou entre 0,02 e 4005,82mg, o valor médio anual foi  $365,57 \pm 753,40$ mg. O conteúdo de carbono (CC%) da dieta da cavala proveio maioritariamente de peixes (CC%=53,4±45,9%) (Tabela 3.3; Fig. 3.1C); seguido dos copépodes (CC%=24,8±36,5%) e cefalópodes (CC%=7,6±21,4%), que também deram contribuições importantes. A contribuição de fitoplâncton para o conteúdo carbónico foi de 1,4% e dos ovos de crustáceos foi de 4,0%, apesar dos valores altos de frequência numérica (Tabela 3.2; Tabela 3.3; Fig. 3.1C). Quanto ao conteúdo de carbono relativo aos copépodes, os grupos que mais contribuíram foram os calanoides (CC%=45,7±22,3%) (Tabela 3.3; Fig. 3.5), em particular os géneros das *Candacia* sp. (CC%=25,0±17,9%) e *Pleuromamma* sp. (CC%=6,6±12,5%); e os copépodes ciclopoides (CC%=26,7±14,8%), dentro destes destacaram-se os *Corycaeus* sp. (CC%=13,5±12,3%) e *Oncaea* sp. (CC%=11,2±12,9%); a ordem Harpacticoida também representou uma pequena fracção do conteúdo carbónico na dieta. Quanto às presas do grupo dos peixes as maiores contribuições foram de peixes não identificados (CC%=70,4±45,7%) e das espécies: agulhão (CC%=8,8±25,4%) e sardinha (CC%=7,4±26,2%) (Tabela 3.3, Fig. 3.3); além dos ovos de peixes (CC%= 14,8±35,5%). De notar que a cavala também contribuiu para a sua dieta.

O índice de importância relativa modificado (mIRI) médio anual indicou os peixes como as presas mais importantes da dieta da cavala (mIRI 3756,8). Os copépodes também revelaram ser uma presa importante (mIRI 2479,9), dentro deste grupo destacaram-se os calanoides (mIRI de 1263,3); os restantes grupos apresentaram valores baixos (Tabela 3.3 e Gráfico 3.1D).

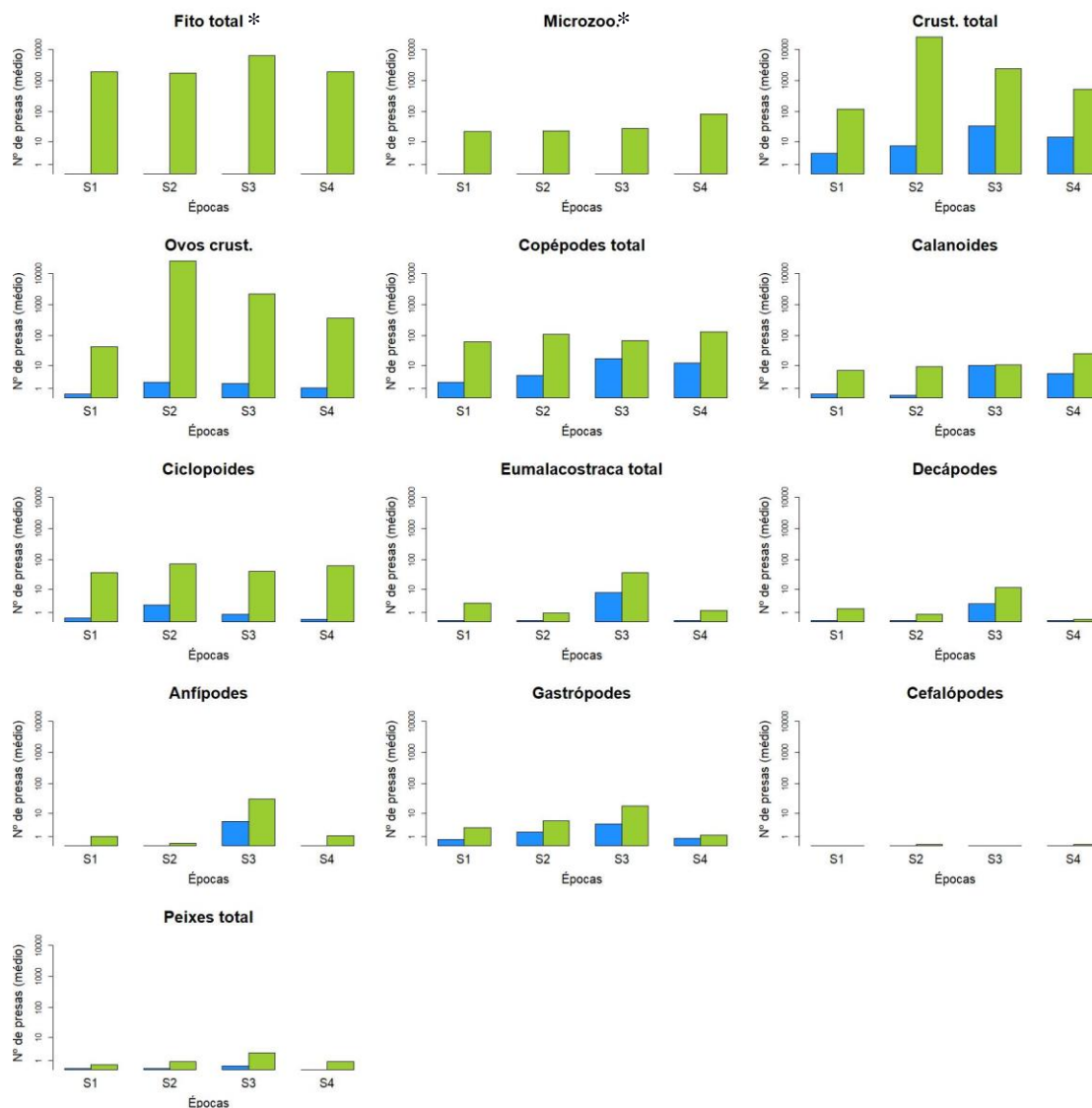
É de referir que, foi encontrado um elevado número de escamas em quase todas as amostras analisadas (100% em carapau-negrão e 88,9% em cavala). No entanto, a quantidade de amostras com indícios de peixe provenientes de estruturas que não as escamas foi bastante menor (27,3% para carapau-negrão e 51,9% para cavala).

### 3.3. Sazonalidade de presas na dieta do carapau-negrão e da cavala



**Figura 3.6** - Frequência de ocorrência (FO%) por épocas do ano: Fevereiro-Abril (S1), Maio-Julho (S2), Agosto-Outubro (S3) e Novembro-Janeiro (S4) dos principais grupos de presas para carapau-negrão (azul) e cavala (verde). Crust. total: crustáceos total, Ovos crust.: ovos de crustáceos. Consultar Fig. S4.1.

Os crustáceos não identificados, ovos de crustáceos e copépodes estiveram sempre presentes na dieta da cavala e com flutuações na dieta do carapau-negrão (Fig. 3.6). Contudo, os decápodes apresentaram um pico na época S3 (Agosto-Outubro), em ambas as espécies. Os gastrópodes estiveram presentes, mas com flutuações nas dietas (Tabela 3.2; Fig. S4.1). Os cefalópodes foram mais frequentes na época S4 (Novembro-Janeiro) na dieta da cavala. A frequência de ocorrência de peixes em S3 foi a mais alta; o trombeteiro apresentou um pico em S3 para ambas as espécies (Tabela 3.2; Fig. S3.1). Em S4 os peixes mantiveram uma frequência alta na dieta da cavala, embora tenham desaparecido da dieta de carapau-negrão.

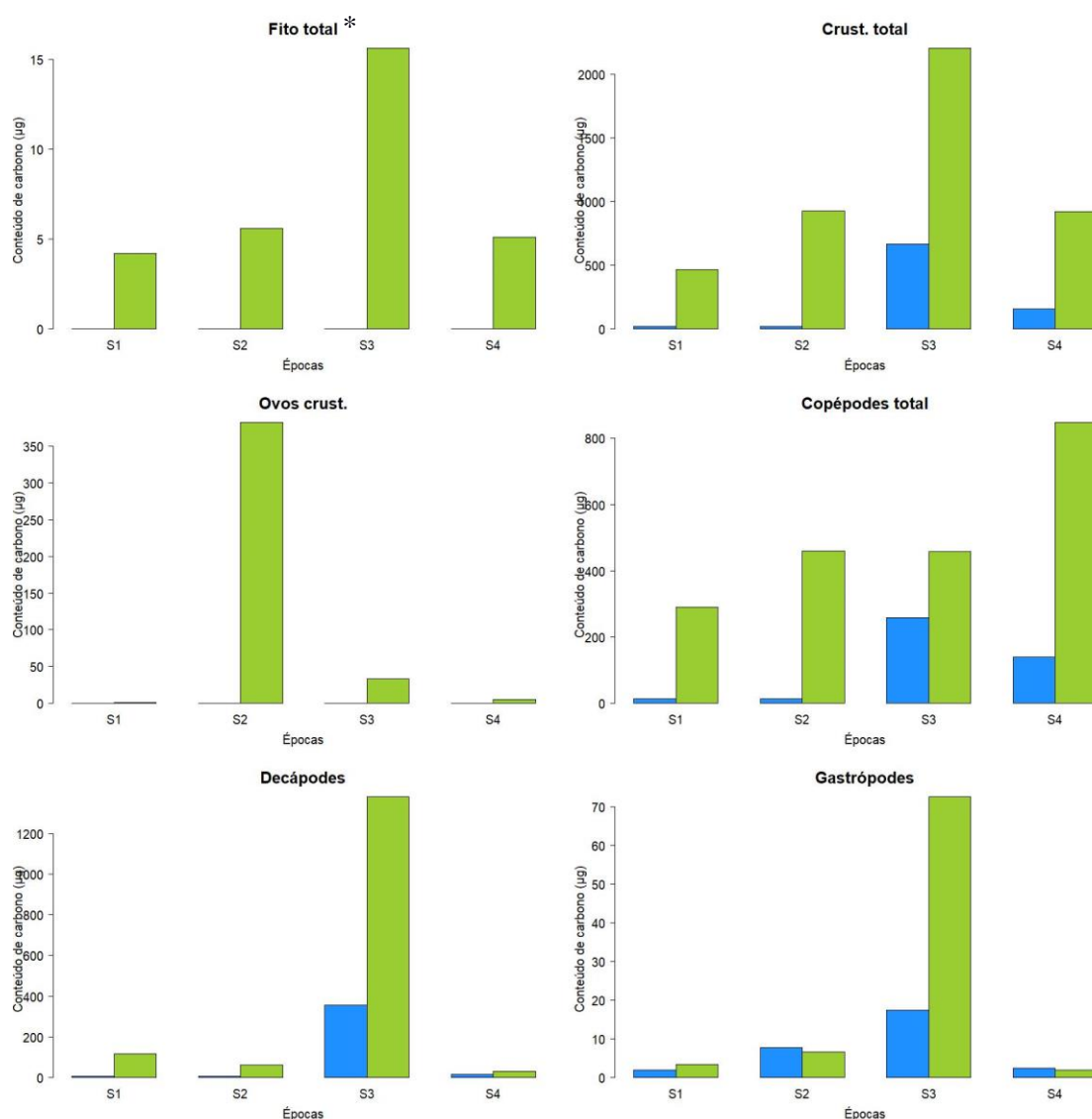


**Figura 3.7** - Número médio de presas por épocas do ano: Fevereiro-Abril (S1), Maio-Julho (S2), Agosto-Outubro (S3) e Novembro-Janeiro (S4) dos principais grupos de presas para carapau-negrão (azul) e cavala (verde). O eixo dos yy está representado como  $\log(x+1)$ . \*Não foi analisado nas amostras de carapau-negrão. Crust. total: crustáceos total, Ovos crust.: ovos de crustáceos. Consultar Fig. S4.2.

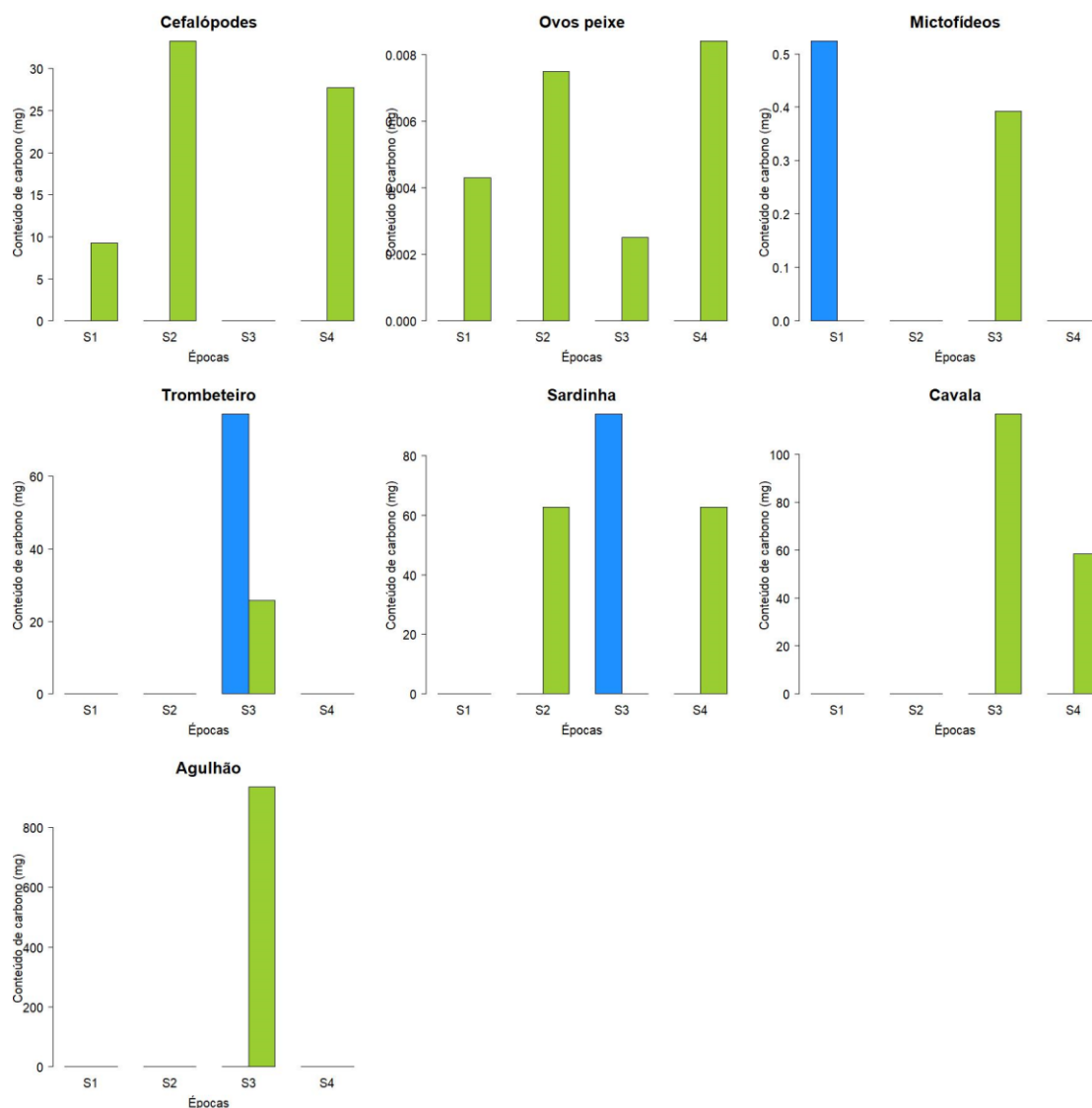
O número de presas da dieta de carapau-negrão manteve-se estável ao longo do ano (Fig. 3.7). No caso da dieta da cavala, o fitoplâncton triplicou a sua abundância na época S3 e os crustáceos foram cinco vezes mais abundantes na época S2 (Maio-Julho), devido à grande abundância de ovos de crustáceos.

Enquanto, na dieta do carapau-negrão a quantidade de copépodes foi semelhante para as épocas analisadas, na dieta da cavala o número flutuou ao longo do ano e o seu pico de abundância foi na época S4. Dentro do grupo dos copépodes, os calanoides aumentaram para o dobro na época S4, os ciclopoides tiveram o seu pico em S2, e o número de harpacticoides foi muito baixo (Fig. 3.7; Fig. S4.2). Os Eumalacostraca foram mais abundantes em S3 para cavala e carapau-negrão, e na dieta da cavala metade do número de presas de Eumalacostraca foram anfípodes (Fig. 3.7). O número de gastrópodes foi superior na época S3 para ambas as dietas. Quanto aos peixes,

existiram poucos indivíduos nas dietas das duas espécies, mas em ambas notou-se um aumento na época S3.



**Figura 3.8** – Conteúdo médio de carbono total (µg) por épocas do ano: Fevereiro-Abril (S1), Maio-Julho (S2), Agosto-Outubro (S3) e Novembro-Janeiro (S4) das presas de carapau-negrão (azul) e cavala (verde). \*Não foi analisado nas amostras de carapau-negrão. Consultar Fig. S4.3.



**Figura 3.9** - Conteúdo médio de carbono total (mg) por épocas do ano: Fevereiro-Abril (S1), Maio-Julho (S2), Agosto-Outubro (S3) e Novembro-Janeiro (S4) das presas de carapau-negrão (azul) e cavala (verde). Consultar Fig. S4.3.

O conteúdo total de carbono das presas de menor tamanho, ou seja, de fitoplâncton, de zooplâncton <200µm e de ovos de crustáceos mostrou o mesmo padrão sazonal que o número médio de presas (Tabela 3.2; Tabela 3.3; Fig. 3.5; Fig. 3.8). Os ovos de crustáceos tiveram um pico em S2, no entanto, a maior quantidade de carbono por parte dos crustáceos ocorreu na época S3 para ambas as dietas, com a contribuição dos Eumalacostraca, quase totalmente por decápodes. Os copépodes contribuíram ao longo de todo o ano. No carapau-negrão o pico dos copépodes ocorreu em S3 (Fig. 3.8) e sobretudo por calanoides, enquanto os ciclopoídes obtiveram valores diminutos. Na dieta da cavala a maior contribuição foi durante a época S4, com o aumento da contribuição dos calanoides e ciclopoídes. Os gastrópodes aumentaram a sua contribuição em S3 na dieta de ambas as espécies. Relativamente aos cefalópodes, não contribuíram na época S3, e contribuíram de forma idêntica na época S2 e S4 na dieta da cavala. Os peixes tiveram a maior contribuição em carbono na época S3 em ambas as dietas. A contribuição dos ovos de peixes foi regular ao longo do ano (Fig. 3.9). Os mictofídeos só contribuíram em S1 para a dieta do carapau-negrão e em S3 para a dieta da cavala. O trombeteiro foi uma presa com uma grande contribuição

nas duas dietas exclusivamente na época S3, tal como o agulhão para a dieta da cavala. A sardinha teve uma contribuição em conteúdo de carbono na dieta do carapau-negrão e da cavala, em quase todas as épocas para pelo menos uma das dietas. A cavala foi presa na dieta da cavala em S3 e S4.

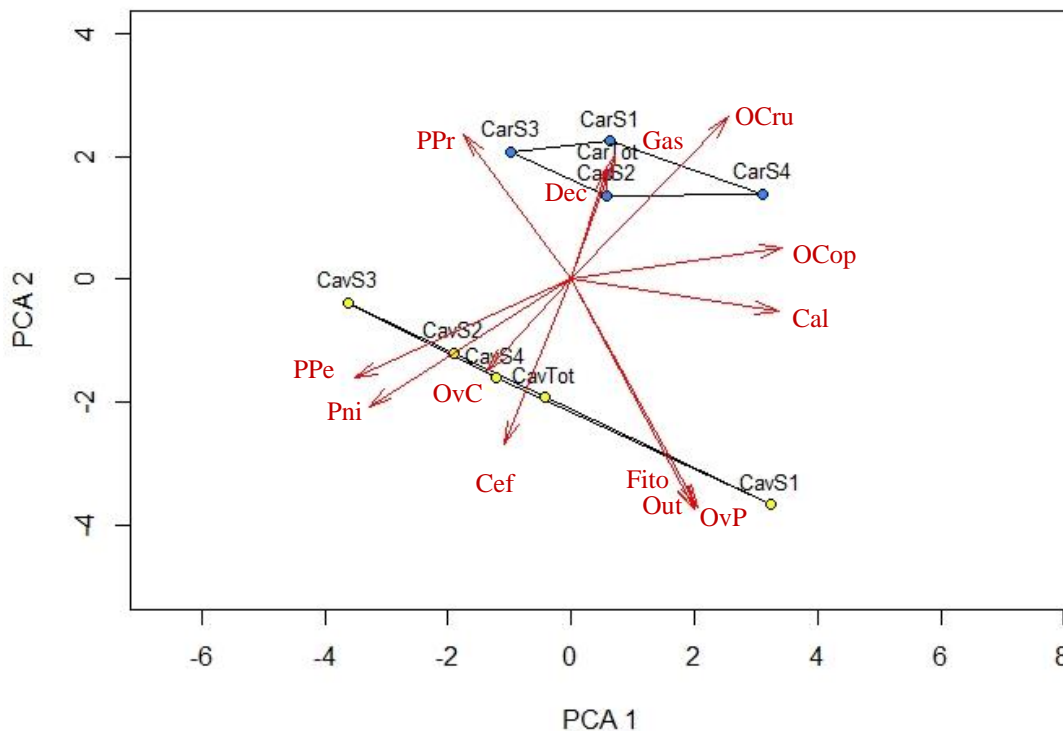
### 3.4. Ecologia trófica do carapau-negrão e da cavala

De uma forma geral, as presas da cavala apresentaram frequências de ocorrência mais altas que o carapau-negrão (Tabela 3.2; Fig. 3.1A). No entanto, o trombeteiro e os mictofídeos apresentaram uma frequência de ocorrência mais alta nas amostras de carapau-negrão (Tabela 3.2). O carapau-negrão não incluiu na sua dieta cefalópodes, fitoplâncton, tunicados, nem algumas espécies de peixes (agulhão e cavala), dentro dos crustáceos também não estiveram presentes misidáceos, isópodes, cirrípedes e ostrácodes, contudo estiveram presentes na dieta da cavala, apesar da frequência de ocorrência ser inferior a 10%; dentro dos copépodes, os harpacticoides e diversas espécies de calanoides também estiveram presentes na dieta da cavala e ausentes na dieta do carapau-negrão (Tabela S3.1). Os ovos de crustáceos e os copépodes mais pequenos, como os *Corycaeus* sp. e *Oncaea* sp., também tiveram contribuições numéricas e de carbono maiores na dieta da cavala do que no carapau-negrão.

A frequência numérica (FN%) das presas de cavala foi dominada por dois grupos: fitoplâncton e ovos de crustáceos (Tabela 3.2; Fig. 3.1B), enquanto na dieta de carapau-negrão vários grupos de presas tiveram uma frequência igual ou superior a 10%: copépodes, ovos de crustáceos, gastrópodes e peixes.

O conteúdo de carbono (CC%) das presas na dieta de carapau-negrão foi dominado pelos crustáceos (CC%=52,3±44,6%), os peixes foram o segundo grupo mais importante (CC%=31,8±46,6%). Para a dieta da cavala o grupo de presas com maior contribuição na dieta foram os peixes (CC%=53,4±45,9%), seguido pelos crustáceos (CC%=34,3±44,3%) (Tabela 3.3).





**Figura 3.10** - Análise de componentes principais (PCA) da percentagem de conteúdo de carbono (CC%) das espécies carapau-negrão (Car, azul) e cavala (Cav, amarelo), representados como dieta anual (Tot) e por épocas do ano: Fevereiro-Abril (S1), Maio-Julho (S2), Agosto-Outubro (S3) e Novembro-Janeiro (S4). As componentes I e II dos eixos explicaram 30,8% e 26,1% da variância total, respectivamente. Fitoplâncton (Fito); calanoides (Cal); outros copépodes (OCop); decápodes (Dec); ovos de crustáceos (OvC); outros crustáceos (OCru); gastrópodes (Gas); cefalópodes (Cef); ovos de peixes (OvP); peixes não identificados (Pni); peixes de profundidade (PPr); peixes pelágicos (PPe); Outros (Out).

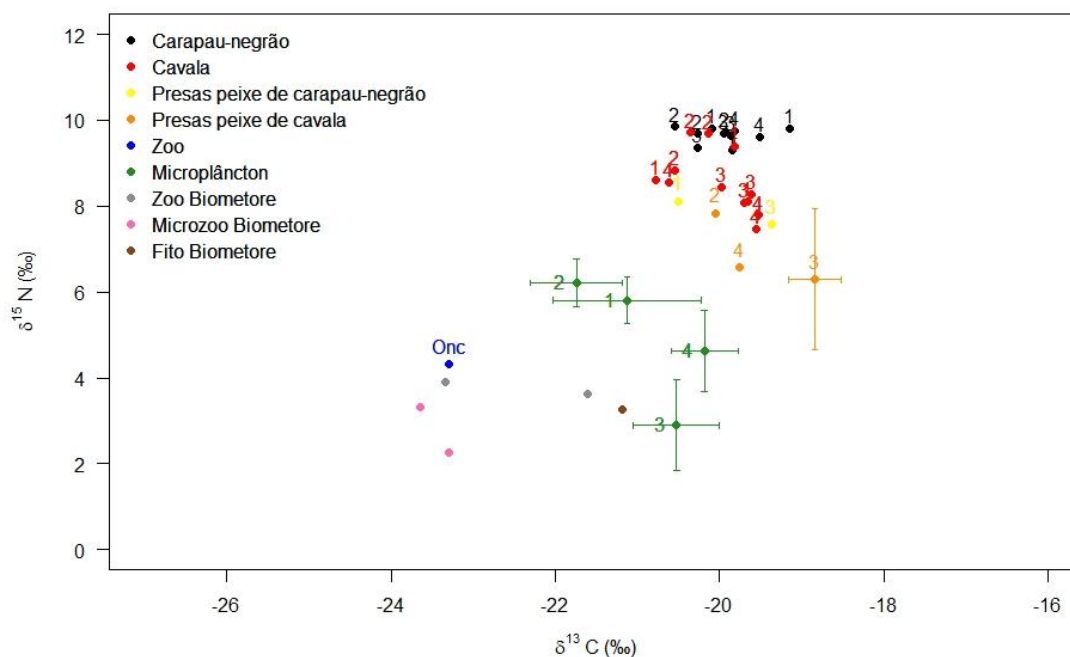
A análise de componentes principais de conteúdo de carbono (Figura 3.10) mostrou, no eixo I, duas divisões, a principal foi entre a época S3 (scores negativos) e a época S1 (scores positivos) da dieta da cavala, a segunda foi entre as épocas S3 (scores negativos) e S4 (scores positivos) da dieta do carapau-negrão. No eixo II, existiu uma separação das dietas das espécies: cavala (scores negativos) e carapau-negrão (scores positivos). A análise permitiu ainda verificar que, os peixes (não identificados e pelágicos), cefalópodes, ovos de crustáceos e fitoplâncton associaram-se à dieta da cavala, enquanto os peixes de profundidade, gastrópodes, decápodes e outros crustáceos relacionaram-se mais com a dieta do carapau-negrão. Os calanoides e outros copépodes foram relevantes para as dietas das duas espécies.

Os valores do índice de Shannon-Wiener anual, calculados a partir da percentagem de conteúdo de carbono e da frequência numérica, foram idênticos para as duas espécies (Tabela 3.4), sugerindo uma diversidade global de presas igual nas duas dietas.

**Tabela 3.4** - Índice de diversidade de Shannon-Wiener ( $H'$ ), valor médio ( $\pm$ desvio-padrão) por amostra, calculado por ano (Anual) e por épocas do ano: Fevereiro-Abril (S1), Maio-Julho (S2), Agosto-Outubro (S3) e Novembro-Janeiro (S4) das espécies carapau-negrão e cavala. n: número de amostras analisadas.

	Carapau-negrão					Cavala				
	$H'$ S1	$H'$ S2	$H'$ S3	$H'$ S4	$H'$ Anual	$H'$ S1	$H'$ S2	$H'$ S3	$H'$ S4	$H'$ Anual
	n=9	n=6	n=4	n=3	n=22	n=9	n=6	n=6	n=6	n=27
<b>FN%</b>	1,0 $\pm 0,6$	0,9 $\pm 0,4$	1,1 $\pm 0,6$	1,0 $\pm 0,3$	1,0 $\pm 0,5$	1,5 $\pm 0,2$	0,3 $\pm 0,1$	1,2 $\pm 0,2$	1,3 $\pm 0,2$	1,1 $\pm 0,5$
<b>CC%</b>	0,5 $\pm 0,5$	0,6 $\pm 0,7$	0,5 $\pm 0,6$	0,7 $\pm 0,1$	0,6 $\pm 0,5$	1,1 $\pm 0,6$	0,6 $\pm 0,6$	<0,1 $\pm <0,1$	0,6 $\pm 0,7$	0,6 $\pm 0,6$

A sobreposição de dietas entre carapau-negrão e cavala foi baixa, o índice de Schoener foi 0,58, apesar de estar próximo do limite para considerarmos que existe sobreposição (0,6), o índice sugere uma diferenciação global entre as dietas.

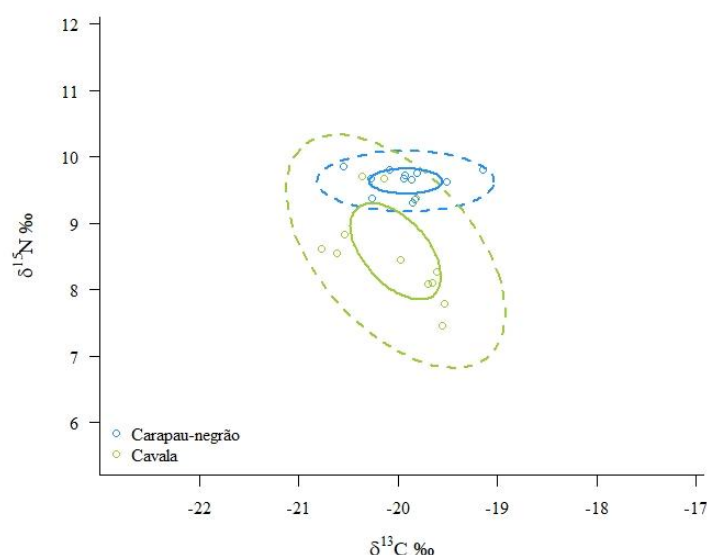


**Figura 3.11** - Valores médio ( $\pm$ desvio-padrão) de  $\delta^{15}\text{N}$  e  $\delta^{13}\text{C}$  dos exemplares de carapau-negrão (a negro) e cavala (a vermelho) recolhidos ao largo da Madeira entre 2017 e 2018 e das suas presas: presas peixe de carapau-negrão, presas peixe de cavala, zooplâncton *Oncaea* sp. (Onc) (valores corrigidos) e microplâncton, com as épocas do ano a que pertencem Fevereiro-Abril (1), Maio-Julho (2), Agosto-Outubro (3) e Novembro-Janeiro (4). São também apresentados os valores de  $\delta^{15}\text{N}$  e  $\delta^{13}\text{C}$  do zooplâncton (Zoo Biometore), microzooplâncton (Microzoo Biometore) e fitoplâncton (Fito Biometore) recolhidos na campanha de 2016 ao monte submarino Seine, arquipélago submarino Great Meteor e Madeira-Tore, do projecto Biometore.

Os valores médios de  $\delta^{15}\text{N}$  de carapau-negrão ( $\delta^{15}\text{N}=9,6\pm0,2$ ;  $\delta^{13}\text{C}=-19,9\pm0,3$ ;  $n=12$ ) foram superiores aos valores de cavala ( $\delta^{15}\text{N}=8,6\pm0,7$ ;  $\delta^{13}\text{C}=-20,0\pm0,4$ ;  $n=12$ ) (Mann-Whitney U test:  $W=128$ ,  $p<0,001$ ), assim como os valores das suas presas peixe (Tabela 3.5; Figura 3.11). Deste modo, as estimativas do nível trófico sugerem valores mais elevados para o carapau-negrão relativamente à cavala (Tabela 3.5). O zooplâncton e o microplâncton apresentaram valores de  $\delta^{15}\text{N}$  semelhantes (Figura 3.11). Os valores médios de  $\delta^{13}\text{C}$  de carapau-negrão foram semelhantes aos valores de cavala. Das amostras recolhidas neste trabalho, os valores foram menores para *Oncaea* sp. ( $\delta^{13}\text{C}_{\text{Anual}}=-23$ ) e maiores para as presas de cavala ( $\delta^{13}\text{C}_{\text{Anual}}=-19$ ).

**Tabela 3.5** - Amostras de carapau-negrão, cavala e das presas presentes nos estômagos analisadas: número de amostras de isótopos estáveis (n), valor médio ( $\pm$ desvio-padrão) de  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$  (zooplâncton com valores corrigidos), nível trófico (TP) médio ( $\pm$ desvio-padrão) calculado usando 3,4‰ como valor de fraccionamento isotópico (TEF) (Post 2002) e nível trófico (TP) médio e desvio-padrão calculado usando 1,6‰ como valor de fraccionamento isotópico (TEF) (Bode et al. 2007). As amostras foram recolhidas, entre Fevereiro de 2017 e Janeiro de 2018, ao largo da ilha da Madeira.

	n	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$	TP (TEF = 3,4‰)	TP (TEF = 1,6‰)
Carapau-negrão	12	$-19,9 \pm 0,3$	$9,6 \pm 0,2$	$3,4 \pm 0,4$	$5,0 \pm 0,8$
Cavala	12	$-20,0 \pm 0,4$	$8,6 \pm 0,7$	$3,1 \pm 0,3$	$4,3 \pm 0,7$
Presas peixe de carapau-negrão	2	$-19,9 \pm 0,6$	$7,8 \pm 0,3$	$3,0 \pm 0,3$	$4,2 \pm 0,7$
Presas peixes de cavala	3	$-19,4 \pm 0,6$	$6,7 \pm 1,0$	$2,8 \pm 0,3$	$3,6 \pm 0,7$
Zooplâncton – <i>Oncaea</i> sp.	1	-23,3	4,3	1,6	1,1
Microplâncton	12	$-20,8 \pm 0,8$	$4,6 \pm 1,6$	-	-



**Figura 3.12** - Áreas dos nichos isotópicos de carapau-negrão (azul) e cavala (verde) estimados pela elipse standard (SEA, que corresponde a 95% dos dados; linha tracejada) e pela elipse standard corrigida (SEAc, que corresponde a 40% dos dados; linha contínua).

**Tabela 3.6** - Dimensão do nicho isotópico de carapau-negrão e cavala, e respectivo número de amostras (n), estimados através das seguintes elipses: área total do polígono convexo (TA), área da elipse standard (SEA) e área da elipse standard corrigida (SEAc).

	<b>Carapau-negrão</b>	<b>Cavala</b>
	n=12	n=12
TA	0,450	1,475
SEA	0,212	0,861
SEAc	0,233	0,947

As diferentes métricas de dimensão do nicho isotópico são superiores na cavala, relativamente ao carapau-negrão (Tabela 3.6). A percentagem de sobreposição (% Sobreposição) das áreas das elipses SEAc foi <0,001% (Tabela S5.1).

## 4. DISCUSSÃO

O presente estudo representa a primeira análise detalhada da dieta e ecologia alimentar do carapau-negrão e da cavala na Madeira, uma área oceânica e oligotrófica. O estudo desenvolvido ao longo de um ano, permitiu avaliar a variabilidade sazonal das dietas e clarificou as posições tróficas das duas espécies.

### 4.1. Características gerais da amostra

Em ambas as espécies definiu-se uma classe de tamanhos de comprimento para diminuir a variabilidade da dieta por ontogenia. A classe de tamanhos escolhida correspondeu, de forma geral, ao tamanho mais frequente dos indivíduos capturados, e aproximou-se da dimensão consumida por diversos predadores locais (aves e mamíferos marinhos). Apesar de se ter tentado diversificar a origem dos exemplares, tal acabou por não ser conseguido, o que poderá ter resultado numa redução da diversidade das presas encontrada.

A variação dos valores do índice gonadosomático sugere que a época de reprodução ocorreu entre Janeiro e Março para ambas as espécies, corroborando os estudos anteriores na zona da Madeira (Vasconcelos et al. 2012, 2017). Quanto à intensidade alimentar, teve níveis mais altos para ambas as espécies na época S3, e em ambas as espécies não parece existir uma relação entre o índice gonadosomático e a intensidade alimentar. De um modo geral, as cavalas tinham um índice de vacuidade menor.

### 4.2. Caracterização da dieta de carapau-negrão e de cavala

Os resultados deste estudo mostram que a dieta do carapau-negrão na região da Madeira teve como presa principal os crustáceos e que, dentro destes os mais importantes foram os copépodes; presas como peixes e gastrópodes também contribuíram significativamente para a dieta. Os resultados encontram-se maioritariamente de acordo com os estudos anteriores da dieta da espécie (Hirsch & Christiansen 2010; Costa et al. 2013; Garrido et al. 2015; Deudero 2001; Deudero &

Morales 2001). No entanto, a dieta de carapau-negrão para a região da Madeira tinha sido descrita anteriormente como sendo dominada por peixes e eufausiáceos (Costa et al. 2013), embora o estudo não seja focado na dieta do carapau-negrão. Outros estudos de dieta do carapau (*T. trachurus*) (Pillar & Barange 1998; Cabral & Murta 2002; Jardas et al. 2004; Santic et al. 2005; Garrido & Murta 2011; Bachiller & Irigoien 2013; Bachiller & Irigoien 2015) também indicaram os eufausiáceos como presa principal. Contudo, no presente estudo os eufausiáceos não ocorreram na dieta do carapau-negrão. Uma situação semelhante ocorreu na dieta do carapau na costa continental Portuguesa: os eufausiáceos foram a presa principal nos anos 1990-1992, e nos anos 2005-2006 os peixes passaram a ser a presa mais importante. Estas modificações demonstram a plasticidade das dietas dos peixes ao longo do tempo, e que os peixes generalistas podem alterar a sua dieta consoante a disponibilidade de presas no meio (Garrido & Murta 2011), que é influenciada pelos ciclos de produtividade, recrutamento e sincronismo (Edwards & Richardson 2004). De facto, os eufausiáceos têm flutuações de abundância e a sua diminuição pode dever-se a oscilações das correntes (Fromentin & Planque 1996; Planque & Taylor 1998) e alterações da temperatura do mar (Ayón et al. 2004; Zhukova et al. 2009; Volkov 2012) ou causado por níveis de predação elevados (Zhukova et al. 2009). Efectivamente, um estudo da comunidade de plâncton na Madeira, feito em 1994, afirma que os eufausiáceos foram um grupo pouco frequente (Caldeira et al. 2001).

Neste estudo, os copépodes foram o grupo mais importante para o carapau-negrão e foi dos grupos com maior contribuição de carbono. A maior parte do carbono veio de indivíduos não identificados, seguido pelos Calanoides, principalmente os géneros das *Pleuromamma* sp. e *Candacia* sp.. Os copépodes já tinham sido apresentados como presas importantes do carapau-negrão em estudos passados (Deudero & Morales 2001; Garrido et al. 2015), assim como os decápodes (Garrido et al. 2015). No estudo da dieta do carapau-negrão na costa continental portuguesa, o género *Candacia* também foi uma presa com contribuições altas (Garrido et al. 2015), mas, do que se sabe, o género *Pleuromamma* não estava descrito na dieta de carapau-negrão. Não foram encontrados estudos sobre a abundância de *Pleuromamma* sp. na Madeira, todavia estes foram considerados um género de copépodes comum em zonas próximas, como os montes submarinos Great Meteor (Martin & Nellen 2004), Canárias (Valdés & Déniz-González 2015) e costa Atlântica do Noroeste de Espanha (Halvorsen et al. 2001). Uma vez que o carapau-negrão foi maioritariamente capturado durante a noite, as *Pleuromamma* sp. podem estar bem representadas, porque este género realiza migrações verticais nocturnas (Kinzer et al. 1993; Morales et al. 1993; Halvorsen et al. 2001; Martin & Nellen 2004; Hirsch & Christiansen 2010), estando assim disponíveis nas camadas superficiais da água. Este género é omnívoro (Kinzer et al. 1993; Morales et al. 1993; Koppelman & Weikert 2003).

Quanto aos peixes, o trombeteiro foi considerado o peixe mais abundante e a presa dominante da dieta do carapau-negrão no monte submarino Seine (Christiansen et al. 2009; Hirsch & Christiansen 2010), além de ser considerado uma espécie de ocorrência frequente (embora com flutuações) na costa continental Portuguesa (Marques et al. 2005), enquanto os mictofídeos constam pela primeira vez na dieta do carapau-negrão. Os mictofídeos são muito abundantes nas zonas oceânicas (Barrera-Oro 2002) e realizam migrações verticais durante a noite para a superfície, onde se alimentam maioritariamente de zooplâncton, ocasião onde provavelmente é predado por carapau-negrão. Os gastrópodes também se revelaram como presas importantes neste estudo. O consumo de gastrópodes não é referido em nenhum estudo da dieta de carapau-negrão, contudo já tinham sido descritos na dieta de carapau ao largo da costa portuguesa (Garrido & Murta 2011).

A dieta da cavala na região da Madeira tem como presa principal os peixes, seguido dos copépodes e dos cefalópodes. Estas observações coincidem com outros estudos, em que os peixes (em menor ou maior número) já foram descritos na dieta de cavala (Habashi & Wojciechowski 1973; Castro 1993; Rizkalla & Faltas 1997; Castro & Hernández-García 1995; Castro & Pino 1995; Sever et al. 2006; Bachiller & Irigoien 2015; Wahbi et al. 2015; Gushchin & Corten 2017). As espécies ou famílias de peixes encontradas neste estudo já tinham sido descritas como parte da dieta desta espécie; a exceção é o agulhão (*Scomberesox saurus*), que ainda não tinha sido descrito como presa da cavala. Esta é uma espécie pelágica que ocorre regularmente na Madeira (Alonso et al. 2018) e, que ocorre juntamente com a cavala, nas pescas em África do Sul (Berruti 1988). Além do agulhão, destaca-se a sardinha já descrita na dieta da cavala na região das Canárias (Castro 1993; Castro & Hernández-García 1995; Castro & Pino 1995), Noroeste de África (Habashi & Wojciechowski 1973; Wahbi et al. 2015), Mauritânia (Gushchin & Corten 2017) e Egipto (Rizkalla & Faltas 1997), sendo também uma espécie pescada na Madeira (DGRNSSM 2018; DGRNSSM 2019).

Neste estudo foi observado canibalismo da cavala, que se alimentou de juvenis. Presume-se que este comportamento seja pouco comum, tendo em conta a baixa frequência com que é descrito na dieta da cavala (Castro 1993). No entanto, é um comportamento comum noutras espécies de pequenos peixes pelágicos do Atlântico como a sardinha e a anchova (Valdés et al. 1987; Costalago et al. 2015; Garrido et al. 2015; Gushchin & Corten 2017) e está, normalmente, associado à menor disponibilidade de alimento de zooplâncton (Smith & Reay 1991; Ginderdeuren et al. 2014), embora também possa ser um mecanismo de regulação da abundância populacional (Valdés et al. 1987).

Apesar dos peixes serem frequentemente descritos como presa da cavala, a maioria dos estudos da dieta indicaram os crustáceos como a presa mais importante, em particular os copépodes e misidáceos nas Canárias (Castro 1993; Castro & Hernández-García 1995; Castro & Pino 1995), eufausiáceos e copépodes no Golfo da Biscaia (Bachiller & Irigoien 2015), ou copépodes na costa continental Portuguesa (Garrido et al. 2015) e Noroeste de África (Wahbi et al. 2015). No presente estudo os copépodes foram a segunda presa mais importante na dieta da cavala, confirmado o estudo das comunidades de zooplâncton da Madeira de 1994, que afirma que foram o grupo mais comum na zona (Caldeira et al. 2001). Por outro lado, os misidáceos foram pouco frequentes e os eufausiáceos não foram encontrados na dieta da cavala, tal como se verificou na dieta do carapau-negrão. Estas diferenças nas dietas podem ser consequência das grandes variações inter-anuais e sazonais dos peixes planctívoros (Garrido & Murta 2011) ou pode ser explicado pela disponibilidade de alimento. De facto, presas como os misidáceos estão associados a dietas de peixes pelágicos de zonas costeiras, e nas zonas adjacentes podem ser substituídos por uma maior proporção de peixe (Cabral & Murta 2002).

Os copépodes foram frequentes, numerosos e com uma elevada contribuição de carbono, especialmente os que pertencem ao grupo Calanoides. A espécie *Calanus helgolandicus* representa mais de 10% do conteúdo de carbono das dietas de carapau-negrão e cavala na costa continental Portuguesa (Garrido et al. 2015). Contudo, na Madeira, apesar da espécie estar incluída na dieta da cavala, representa cerca de um por cento da contribuição total anual, e esta disparidade ainda é maior na dieta do carapau-negrão, por *C. helgolandicus* estar ausente da dieta. Estas alterações de abundância podem dever-se a *C. helgolandicus* estar associado a locais com alta densidade de fitoplâncton (Bonnet et al. 2005; Siokou-Frangou et al. 2010) e ter preferência por diatomáceas (Irigoien et al. 2000) ou às Oscilações do Norte Atlântico (NAO) (Planque & Taylor 1998), tal como observado no Mediterrâneo (Bonnet et al. 2005; Saiz et al. 2007; Siokou-



Frangou et al. 2010). Já as *Candacia* sp. são dos gêneros de copépodes mais importantes na dieta de ambas as espécies. Apesar dos poucos estudos, sabe-se que as *Candacia* sp. são carnívoras (Kinzer et al. 1993; Halvorsen et al. 2001) e do mesmo tamanho de *C. helgolandicus* (Garrido et al. 2015); e foram indicadas como um dos gêneros com maior predominância na zona oceânica da costa da Baía de Bengala, Índia (Rakshesh et al. 2006) e um dos gêneros mais comuns nas Canárias (Valdés & Déniz-González 2015). As *Pleuromamma* sp., referidas na dieta do carapau-negrão, também foram um gênero importante na dieta da cavala.

Os copépodes Ciclopoida, nomeadamente os pertencentes aos gêneros *Oncaea* e *Corycaeus*, representaram uma parte importante na frequência numérica e no conteúdo de carbono relativo dos copépodes, sobretudo na dieta da cavala. Um estudo nos anos 2003-2005 já revelou que os pequenos copépodes eram dominantes na dieta dos peixes pelágicos no monte submarino Seine (Christiansen et al. 2009). As *Oncaea* sp. não tinham sido descritas para a dieta do carapau-negrão, mas são comuns na dieta da cavala (Castro 1993; Sever et al. 2006; Castro & Hernández-García 1995; Castro & Pino 1995), e em estudos de zooplâncton no mar da Catalunha (com características oligotróficas) foram referidos picos de abundância de *Oncaea* sp. (Saiz et al. 2007). Contudo, os Ciclopoida do gênero *Oncaea* são digeridos lentamente pelos seus predadores e poderá haver uma tendência para a sua acumulação nos estômagos dos peixes (Kinzer et al. 1993). Os copépodes do gênero *Corycaeus* são comuns na zona das Canárias (Valdés & Déniz-González 2015) e têm uma dieta omnívora (Koppelman & Weikert 2003; Turner 2004) e carnívora (Halvorsen et al. 2001), tendo sido descritos como presas do carapau-negrão (Garrido et al. 2015) e da cavala (Castro 1993; Sever et al. 2006; Garrido et al. 2015; Wahbi et al. 2015). A maioria dos copépodes dominantes no presente estudo são carnívoros, e este tipo de dieta já foi referido como a mais abundante nos copépodes de áreas oligotróficas (Calbet & Landry 1999).

Os cefalópodes também já foram descritos em vários estudos da dieta da cavala como presa secundária (Habashi & Wojciechowski 1973; Castro 1993; Castro & Hernández-García 1995; Castro & Pino 1995; Rizkalla & Faltas 1997; Sever et al. 2006; Gushchin & Corten 2017) e são um grupo abundante da região da Madeira.

Observando os valores de frequência numérica da dieta da cavala é de notar o número elevado de ovos de crustáceos e de fitoplâncton. No entanto, a contribuição de carbono destes é bastante reduzida. Os ovos de crustáceos e o fitoplâncton são uma fonte importante de carbono nas dietas dos pequenos peixes pelágicos (Garrido et al. 2008). Na dieta da cavala na costa continental Portuguesa presas como os decápodes e o fitoplâncton tiveram maior contribuição (Garrido et al. 2015). Eram esperadas menores contribuições de fitoplâncton na dieta da cavala na Madeira, por ser uma zona oligotrófica; o mesmo resultado foi obtido na dieta da cavala na zona Sul da costa Portuguesa, considerada mais pobre, quando comparado com a zona Oeste, mais produtiva e com influência do afloramento costeiro (Garrido et al. 2015). Nas zonas oligotróficas, a disponibilidade de nutrientes é limitada e o fitoplâncton de maior tamanho não existe em quantidade suficiente, obrigando os predadores a procurarem presas alternativas (Saiz et al. 2007; Garrido et al. 2008; Costalago et al. 2015). Na Madeira, a cavala e o carapau-negrão tiveram uma contribuição maior de peixes, relativamente a estudos semelhantes no continente, e apesar dos peixes serem pouco numerosos, são maiores (Ginderdeuren et al. 2014) e, portanto, têm maior contribuição energética.

Dentro do fitoplâncton, os dinoflagelados foi o grupo com maior número de indivíduos e contribuição em carbono. Este resultado está de acordo com: um estudo de 1994, sobre a comunidade de plâncton, que encontrou frequentemente dinoflagelados nas suas amostras ao largo da Madeira (Caldeira et al. 2001); com a dieta da cavala na costa continental portuguesa

(Garrido et al. 2015); e com outros estudos que afirmam que em zonas com baixas concentrações de nutrientes existe menor número de diatomáceas (Sommer 2000; Stibor et al. 2004). A região da Madeira localiza-se numa zona oligotrófica e neste contexto de limitação de nutrientes, os dinoflagelados e os cocolitóforos ganham importância, por serem uma das principais fontes de alimento dos copépodes (Moita 2001; Steinberg et al. 2001; Saiz et al. 2007).

Os conteúdos estomacais de ambas as espécies continham um número elevado de escamas de peixes. No entanto, é pouco frequente encontrar referência a escamas nos estudos de dietas, eventualmente por ser difícil identificar as espécies de peixes através de escamas (Hubold 1985; Hirsch & Christiansen 2010). Neste estudo não foi possível perceber a causa do elevado número, mas pode ser explicado por demorarem mais tempo a serem digeridas, resultando numa acumulação, ou no consumo durante a pesca, quando os peixes perdem muitas escamas em contacto com a rede.

### **4.3. Sazonalidade da dieta do carapau-negrão e da cavala**

Não existem muitos estudos sobre a comunidade planctónica na zona da Madeira, e o esquema de amostragem deste estudo também não permite avaliar correctamente se os peixes fazem selecção activa de tipos de presas ou se o consumo é proporcional à disponibilidade de presas no meio. No entanto, parece existir sazonalidade na dieta de carapau-negrão e cavala.

Na Madeira, os *blooms* de fitoplâncton ocorrem na Primavera (Martins et al. 2007) com o aumento do fotoperíodo. A frequência numérica e a contribuição de carbono de fitoplâncton coincidem com os *blooms*, que ocorrem com maior intensidade na época S1 da dieta da cavala. No entanto, foi na época S3 que surgiu o maior número de indivíduos, o que pode ser explicado por em S3 a intensidade alimentar ter sido mais alta. Os *blooms* de dinoflagelados, o grupo dominante de fitoplâncton na dieta da cavala, também costumam ocorrer na Primavera (Steinberg et al. 2001).

Os ovos de crustáceos tiveram um pico em número de indivíduos na época S2, possivelmente por existir mais fitoplâncton, nessa altura, e ser uma altura favorável para a reprodução dos crustáceos. Os copépodes estiveram sempre presentes na dieta de cavala e carapau-negrão, o que parece indicar que são constantes no meio, embora na dieta da cavala, os copépodes tenham tido dois picos em que o número de indivíduos foi maior: na época S2, correspondente à Primavera, e no Inverno, semelhante a outros estudos da dieta da cavala (Sever et al. 2006; Wahbi et al. 2015). Presume-se que estes picos tenham sido uma selecção da cavala por este tipo de alimento, embora no caso do Inverno também se possa dever à escassez de outros alimentos.

Na dieta da cavala, os anfípodes foram dos Eumalacostraca mais numerosos na época S3. Esta Ordem já tinha sido referida como presa dominante na Primavera (Sever et al. 2006) e no Verão em profundidades inferiores a 50m (Wahbi et al. 2015). Os decápodes (na sua maioria megalopas das Infra-ordens Brachyura e Anomura), tiveram um aumento da contribuição de carbono na época S3. As megalopas de Brachyura e Anomura ocorrem mais no Verão (Queiroga 1996), e noutros estudos de dieta de sardinha na costa continental Portuguesa também foram detectadas maiores quantidades nessa altura (Garrido et al. 2008).

Os gastrópodes foram importantes na contribuição de carbono na época S2 da dieta de carapau-negrão, mas estas presas foram mais numerosas em S3 sobretudo para a cavala, pode estar relacionada com a menor intensidade alimentar em S2.



Existiu um pico do número de indivíduos e da contribuição de carbono de peixe na época S3, para ambas as dietas. Não existe informação para a dieta do carapau-negrão, mas este padrão já foi registado na dieta da cavala noutros locais (Rizkalla & Faltas 1997; Sever et al. 2006; Wahbi et al. 2015).

O trombeteiro apresentou as mesmas tendências nas duas dietas, e só foi consumido na época S3. Não existem muito estudos sobre a espécie. Contudo, o trombeteiro já tinha sido indicado como uma presa sazonal (mais importante no Outono) para outras espécies de carapau (Cabral & Murta 2002) e foi observado na dieta da cavala nas Canárias (Castro 1993; Castro & Hernández-García 1995; Castro & Pino 1995). O agulhão foi a espécie com maior contribuição de carbono na época S3 da dieta da cavala; por ser uma espécie epipelágica é esperado que só tenha sido presa da cavala. O agulhão é uma espécie muito pouco estudada, e não se conseguiu perceber se existiu uma variação sazonal na dieta ou se a variação é ambiental. Por ser difícil de identificar, não se sabe se o agulhão foi detectado em Março, nos Açores (Granadeiro et al. 1998), o que poderia indicar que a espécie estaria presente o ano inteiro. Por outro lado, na zona de África do Sul, existe um estudo para a sub-espécie do hemisfério Sul, que descreve migrações longitudinais (Berruti 1988).

#### 4.4. Ecologia trófica do carapau-negrão e da cavala

Os valores  $\delta^{15}\text{N}$  deste trabalho, para quase todos os grupos, foram mais baixos do que a maioria dos estudos, sugerindo que a zona da Madeira seja mais pobre em  $\delta^{15}\text{N}$ , e corroborando com outros estudos de zonas oceânicas (Tanaka et al. 2008) e oligotróficas (Fry & Quiñones 1994; Montoya et al. 2002; Valls et al. 2014), áreas cujo  $\delta^{15}\text{N}$  é limitado (Caldeira et al. 2002). Tal como esperado, o intervalo de valores de  $\delta^{13}\text{C}$  deste estudo indica que a principal fonte de carbono dos vários grupos foi quase exclusivamente o fitoplâncton de zonas marinhas temperadas (Fry & Sherr 1989).

Comparativamente, os valores de  $\delta^{15}\text{N}$  de carapau-negrão foram mais baixos do que os estudos no monte submarino Seine (Hirsch & Christiansen 2010), na Galiza (Fernández et al. 2011) e no Atlântico Norte (Paiva et al. 2010). Porém no monte submarino Condor (Açores, Portugal) (Colaço et al. 2013) e noutra amostragem no monte submarino Seine (Hirsch & Christiansen 2010) os valores foram próximos. A cavala também obteve valores de  $\delta^{15}\text{N}$  inferiores aos estudos no monte submarino Condor (Colaço et al. 2013) e no Mediterrâneo (Albo-Puigserver et al. 2016). A dieta de carapau-negrão e de cavala na Madeira não incluiu eufausiáceos e os misidáceos apresentaram uma contribuição muito pequena. Estes grupos têm um valor  $\delta^{15}\text{N}$  superior ao dos copépodes (uma das presas predominante da dieta de ambas as espécies), que poderia produzir um enriquecimento maior, o que poderá eventualmente explicar as diferenças entre a Madeira e os outros locais.

O carapau-negrão apresentou um  $\delta^{15}\text{N}$  mais alto que a cavala, mas não existe uma diferença clara entre as posições tróficas das espécies. As posições tróficas relativas das duas espécies não são bem conhecidas, devido à ausência de estudos comparativos. Num estudo no Atlântico Norte o valor do carapau-negrão foi superior ao género *Scomber* (Paiva et al. 2010), no Mediterrâneo a cavala teve um valor superior ao género *Trachurus* (Albo-Puigserver et al. 2016) e no monte submarino Condor o carapau-negrão e a cavala tiveram valores muito próximos (Colaço et al. 2013).

Contudo, os resultados dos conteúdos estomacais indicam que a presa dominante do carapau-negrão são os crustáceos e da cavala são os peixes. Estes resultados podem ser contraditórios com os resultados isotópicos. De facto, já foi notada uma discrepância entre os resultados de conteúdos estomacais e de isótopos estáveis (Cresson et al. 2014) e as interpretações dos resultados isotópicos devem ser realizadas com cuidado, por estes serem mais gerais e uma metodologia indirecta (Layman et al. 2012). Este estudo não conseguiu encontrar uma explicação, mas salienta-se que, nos conteúdos estomacais de carapau-negrão, pode ter-se subestimado o consumo de peixe, por não se considerar as escamas como indício de presa. Deste modo, é provável que as duas espécies apresentem níveis tróficos globalmente semelhantes, apesar das presas identificadas nos conteúdos estomacais poderem ser diferentes.

Não foi possível identificar as espécies de peixe presa utilizadas para determinação isotópica, mas assumindo que se tratam das mesmas espécies identificadas pelas vértebras: o agulhão (Connan et al. 2017), a sardinha (Bode et al. 2007; Fernández et al. 2011; Cardona et al. 2012; Costalago et al. 2012; Chouvelon et al. 2014; Chouvelon et al. 2015; Albo-Puigserver et al. 2016) e o trombeteiro (Bode et al. 2007; Hirsch & Christiansen 2010; Colaço et al. 2013), então os valores  $\delta^{15}\text{N}$  também estão mais baixos comparativamente com outros estudos. No entanto, os valores estão próximos do valor  $\delta^{15}\text{N}$  dos juvenis de trombeteiro do monte submarino Seine (Hirsch & Christiansen 2010).

O zooplâncton e o microplâncton apresentaram valores isotópicos de  $\delta^{15}\text{N}$  muito semelhantes, apesar de ser esperado um  $\delta^{15}\text{N}$  menor para o microplâncton. As amostras de microplâncton (ítems com  $<200\mu\text{m}$ ) incluíram fitoplâncton, ovos de crustáceos, e não podemos excluir a hipótese de conterem vestígios e pequenos fragmentos de presas maiores, como os peixes. Provavelmente, os ovos de crustáceos acabaram por contribuir mais, reflectindo-se num valor mais alto de  $\delta^{15}\text{N}$ , além das amostras poderem ter valores discrepantes, por terem vindo dos estômagos de cavala e terem sido sujeitos à digestão. Por outro lado, estudos anteriores já tinham afirmado que o valor médio de  $\delta^{15}\text{N}$  varia pouco no plâncton com tamanho entre 40 e  $500\mu\text{m}$  (Fry & Quiñones 1994; Bode et al. 2007), e estudos feitos na costa Atlântica da Península Ibérica (Bode et al. 2004; Bode et al. 2007) e no Mediterrâneo (Costalago et al. 2012; Valls et al. 2014) obtiveram valores de  $\delta^{15}\text{N}$  semelhantes ao deste estudo, inclusive um dos estudos também obteve valores de  $\delta^{15}\text{N}$  de microplâncton superiores aos valores dos copépodes (Costalago et al. 2012). Relativamente ao zooplâncton, os valores foram semelhantes aos de zooplâncton do projecto Biometore, no monte submarino Seine. Os copépodes do género *Oncaea* obtiveram um valor  $\delta^{15}\text{N}$  próximo ao estudo do monte submarino Seine (Hirsch & Christiansen 2010), e mais baixo que o  $\delta^{15}\text{N}$  na Baía de Biscaia.

Não foram encontradas variações marcadas das assinaturas isotópicas ao longo das épocas do ano de carapau-negrão e cavala, tal como aconteceu no Mediterrâneo com a cavala e o carapau (*T. trachurus*) (Albo-Puigserver et al. 2016). Essa observação não contraria os dados dos conteúdos estomacais, uma vez que o músculo tem uma taxa de *turnover* isotópica longa, e por isso não é adequado para detectar pequenas variações (Hays et al. 2005; Layman et al. 2012; Phillips et al. 2014; Chouvelon et al. 2015).

Relativamente ao cálculo das posições tróficas, a qualidade da *baseline* influencia o nível trófico e não é fácil conseguir-se estimar, porque muda significativamente consoante a variação do fitoplâncton e dos nutrientes (Kling & Fry 1992; Cresson et al. 2014; Tiselius & Fransson 2016). O valor de fraccionamento isotópico (TEF) influencia bastante o nível trófico, como se verificou na Tabela 3.5 ao comparar dois TEFs diferentes.

O carapau-negrão (Hirsch & Christiansen 2010; Colaço et al. 2013) e a cavala (Colaço et al. 2013; Albo-Puigserver et al. 2016) obtiveram valores semelhantes a outros estudos no Atlântico e Mediterrâneo que também usaram o TEF igual a 3,4‰. Os níveis tróficos entre três e quatro para peixes planctívoros são bastante consensuais para o Pacífico (Takai et al. 2007; Madigan et al. 2012) e Atlântico. O TEF de 1,6‰ utilizado por Bode et al. 2007 não se revelou adequado neste estudo, apesar de ser calculado para sardinha, e de se suspeitar que entre os peixes planctívoros e as suas presas existe um nível de enriquecimento menor (Bode et al. 2007).

Do ponto de vista do comportamento alimentar, observámos que as frequências de ocorrência das presas foram globalmente mais altas na cavala do que no carapau-negrão. E a cavala também teve um maior número de presas nos estômagos. O que pode sugerir que a intensidade alimentar da cavala é maior do que no carapau-negrão (como aconteceu neste estudo), mas também pode mostrar que as horas a que as duas espécies se alimentam são distintas, e que o carapau-negrão alimenta-se mais durante o período diurno.

O facto de o fitoplâncton e de copépodes, como os Harpacticoida, só aparecerem na dieta da cavala; dos *Corycaeus* sp. e *Oncaea* sp. terem uma contribuição de carbono alta na cavala e baixa no carapau-negrão; e da frequência numérica dos ovos de crustáceos ser muito superior na dieta da cavala sugere diferenças no tipo de alimentação. Esta observação poderá estar relacionada com o tipo de brânquiaspinhas (Bode et al. 2004; Chouvelon et al. 2015; Costalago et al. 2015; Albo-Puigserver et al. 2016). A cavala é uma espécie com maior capacidade filtradora, tem uma densidade de brânquiaspinhas superior (Bachiller & Irigoien 2013) que lhe permite ingerir presas de tamanho mais pequeno, enquanto que o carapau-negrão opta por presas de tamanho maior (Garrido et al. 2015). Comparativamente com o carapau-negrão, a cavala é uma espécie mais generalista (Sever et al. 2006; Wahbi et al. 2015), alimenta-se das presas disponíveis e adapta a sua dieta às presas mais abundantes no meio, consoante as variações espaciais e temporais (Castro & Pino 1995; Garrido et al. 2015), por esse motivo, a dieta da cavala tem mais diversidade do que a dieta do carapau-negrão. Estes resultados também se reflectiram nas áreas dos nichos isotópicos, que foi maior para a cavala.

Por outro lado, o trombeteiro e os mictofídeos contribuíram mais na dieta de carapau-negrão do que na dieta da cavala, estas presas peixe estão em zonas menos superficiais (May & Maxwell 1986; Nelson 1994), e o carapau-negrão utiliza zonas mais profundas que a cavala (Collette 1986; Mytilineou et al. 2005).

O índice de Shannon-Wiener apresentou valores idênticos entre o carapau-negrão e a cavala indicando uma diversidade semelhante. Devido ao agrupamento de presas, pode não se ter detectado a diferença ligeira encontrada na costa Atlântica Portuguesa, que atribuiu uma diversidade ligeiramente maior ao carapau-negrão (Garrido et al. 2015). O resultado duma diversidade superior no carapau-negrão, pode parecer contraditório, mas o índice de Shannon-Wiener também procura a equitabilidade entre grupos, e estes foram mais equilibrados na dieta do carapau-negrão (Fig. 3.1).

O índice de Schoener e as áreas dos nichos isotópicos das áreas SEAc (Tabela 3.6 e Fig. 3.12) indicam que não existe sobreposição das dietas, resultados que coincidem com os descritos na costa continental Portuguesa (Garrido et al. 2015). No entanto, podemos considerar que existe uma ligeira competição entre as espécies, por o índice de Schoener estar próximo da zona limite para considerar-se como sobreposição e por nas áreas dos nichos isotópicos da elipse standard (SEA) existir uma sobreposição.

#### 4.5. Considerações finais

Os resultados deste estudo permitiram aumentar o conhecimento sobre as dietas do carapau-negrão e da cavala. Além das dietas do carapau-negrão e da cavala terem sido descritas de forma detalhada para a região da Madeira, a dieta da cavala foi descrita pela primeira vez para esta área. Com este estudo também se conseguiram definir as assinaturas isotópicas do carapau-negrão e da cavala para a região da Madeira, bem como de algumas das suas presas.

Este estudo distingue-se por ser feito numa área oceânica, relativamente mal conhecida, enquanto a maioria dos estudos das dietas destes peixes pelágicos situam-se em zonas produtivas de afloramento ou em zonas mais próximas da costa. O estudo da dieta dos pequenos peixes pelágicos dominantes no ecossistema marinho da Madeira, contribui para o conhecimento das presas dos níveis tróficos mais baixos, nomeadamente, de outros peixes e da comunidade planctónica, que está muito pouco estudada neste local. O facto de as duas espécies terem dietas planctívoras, generalistas e não sobrepostas, permitiu capturar uma considerável diversidade de tipo de presas neste ecossistema e possivelmente abranger uma profundidade maior na coluna de água, por a cavala ser essencialmente epipelágica e o carapau-negrão ser principalmente bentopelágico.

Tanto o carapau-negrão como a cavala são das espécies pelágicas mais capturadas na região da Madeira e também são presas economicamente importantes no sector pesqueiro em Portugal. Um estudo recente, de 2018 (Vasconcelos et al. 2018), veio alertar para o facto da população de carapau-negrão na Madeira estar a ser explorada acima dos níveis sustentáveis e que o *stock* está em risco. Verificou-se que o comprimento (TL) dos peixes no primeiro ano de reprodução decresceu mais de 2 cm; e este é um dos indicadores mais fortes, porque reflecte as alterações na estrutura populacional e no recrutamento, e consequentemente na densidade da espécie. Para a cavala ainda não existe nenhum estudo sobre o *stock* em Portugal, nem nenhum plano de gestão e tendo em conta as tendências do carapau-negrão na Madeira e da sardinha em Portugal continental, seria importante compreender a evolução dos seus mananciais no continente e nas zonas oceânicas da Madeira e Açores.

Além do valor como espécie, o carapau-negrão e a cavala são uma presa-chave para a comunidade de aves marinhas, mamíferos marinhos e peixes predadores da região da Madeira. Assim, eventuais alterações da dinâmica dos mananciais das duas espécies terão implicações para o sector pesqueiro, mas também para muitas espécies de predadores que ocorrem no ecossistema rico da Madeira. A este propósito, é bom lembrar que os grandes peixes predadores, como por exemplo, os cetáceos e os marlins são uma mais valia turística de grande importância na ilha da Madeira e consequentemente uma fonte de receita. E o atum rabilho, espadarte, atum albacora, atum gaiado e atum patudo, ainda é acrescentada a importância para a pesca.

Como forma de evitar a sobre-pesca do carapau-negrão, as autoridades da Madeira já procederam a uma restrição do tamanho mínimo das redes, e uma redução da quantidade máxima de capturas e da profundidade das pescas. Estas medidas não parecem ter sido suficientes para travar o aparente decréscimo de carapau-negrão, e foi necessário reduzir o número de barcos de pesca de cerco (Vasconcelos et al. 2018). No futuro, é preciso continuar a acompanhar a evolução dos mananciais do carapau-negrão e da cavala e recomenda-se que sejam feitos estudos da estrutura populacional e planos de gestão da pesca para ambas as espécies, em particular, para a região da Madeira.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS<sup>1</sup>

- Aguilar FF. 2016. Qual o papel trófico da lagartixa-da-Madeira, *Teira dugesii selvagensis*, na Selvagem Grande?. Tese de mestrado - Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.
- Albo-Puigserver M, Navarro J, Coll M, Layman CA, Palomera I. 2016. Trophic structure of pelagic species in the northwestern Mediterranean Sea. *Journal of Sea Research* **117**:27-35.
- Alheit J, Pohlmann T, Casini M, Greve W, Hinrichs R, Mathis M, O'Driscoll K, Vorberg R, Wagner C. 2012. Climate variability drives anchovies and sardines into the North and Baltic Seas. *Progress in Oceanography* **96**:128-139.
- Alonso H, Granadeiro JP, Dias MP, Catry T, Catry P. 2018. Fine-scale tracking and diet information of a marine predator reveals the origin and contrasting spatial distribution of prey. *Progress in Oceanography* **162**:1-12.
- Alonso H, Granadeiro JP, Ramos JA, Catry P. 2013. Use the backbone of your samples: fish vertebrae reduces biases associated with otoliths in seabird diet studies. *Journal of Ornithology* **154**:883-886.
- Alonso H, Granadeiro JP, Silke W, Xavier J, Symondson WOC, Ramos JA, Catry P. 2014. An holistic ecological analysis of the diet of Cory's shearwaters using prey morphological characters and DNA barcoding. *Molecular Ecology* **23**:3719-3733.
- Arkhipov AG, Mamedov AA. 2008. Ichthyoplankton of the Azores Seamounts. *Journal of Ichthyology* **48**:259-267.
- Ayón P, Purca S, Guevara-Carrasco R. 2004. Zooplankton volume trends off Peru between 1964 and 2001. *ICES Journal of Marine Science* **61**:478-484.
- Bachiller E, Irigoien X. 2013. Allometric relations and consequences for feeding in small pelagic fish in the Bay of Biscay. *ICES Journal of Marine Science* **70**:232-243.
- Bachiller E, Irigoien X. 2015. Trophodynamics and diet overlap of small pelagic fish species in the Bay of Biscay. *Marine Ecology Progress Series* **534**:179-198.
- Bachiller E, Skaret G, Nøttestad L, Slotte A. 2016. Feeding Ecology of Northeast Atlantic Mackerel, Norwegian Spring-Spawning Herring and Blue Whiting in the Norwegian Sea. *PLoS One* **11**:1-25.
- Bakun A. 2006. Wasp-waist populations and marine ecosystem dynamics: Navigating the "predator pit" topographies. *Progress in Oceanography* **68**:271-288.
- Barreiros JP, Santos RS, Borba AF. 2002. Food habits, schooling and predatory behaviour of the yellowmouth barracuda, *Sphyraena viridensis* (Perciformes: Sphyraenidae) in the Azores. *Cybium – International Journal of Ichthyology* **26**:83-88.
- Barrera-Oro E. 2002. The role of fish in the Antarctic marine food web: differences between

---

<sup>1</sup> As referências bibliográficas seguem as normas da revista científica *Conservation Biology*

inshore and offshore waters in the southern Scotia Arc and west Antarctic Peninsula. *Antarctic Science* **14**:293-309.

Barton MB, Litvin SY, Vollenweider JJ, Heintz RA, Norcross BL, Boswell KM. 2019. Experimental determination of tissue turnover rates and trophic discrimination factors for stable carbon and nitrogen isotopes of Arctic Sculpin (*Myoxocephalus scorpioides*): a common Arctic nearshore fish. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* **511**:60-67.

Batts BS. 1972. Food habits of the Skipjack Tuna, *Katsuwonus pelamis*, in the North Carolina Waters. *Chesapeake Science* **13**:193-200.

Behrenfeld MJ, O'Malley RT, Siegel DA, McClain CR, Sarmiento JL, Feldman GC, Milligan AJ, Falkowski PG, Letelier RM, Boss ES. 2006. Climate-driven trends in contemporary ocean productivity. *Nature* **444**:752-755.

Berruti A. 1988. Distribution of and predation on saury *Scomberesox saurus scombroides* in continental shelf waters off the Cape Province, South Africa. *South African Journal of Marine Science* **6**:183-192.

Bode A, Alvarez-Ossorio MT, Cunha ME, Garrido S, Peleteiro JB, Porteiro C, Valdés L, Varela M. 2007. Stable nitrogen isotope studies of the pelagic food web on the Atlantic shelf of the Iberian Peninsula. *Progress in Oceanography* **74**:115-131.

Bode A, Carrera P, Lens S. 2004. Reconstruction of trophic pathways between plankton and the North Iberian sardine (*Sardina pilchardus*) using stable isotopes. *Scientia Marina* **68**:165-178.

Bonnet D et al. 2005. An overview of *Calanus helgolandicus* ecology in European waters. *Progress in Oceanography* **65**:1-53.

Borges TC, Olim S, Erzini. 2003. Weight-length relationships for fish species discarded in commercial fisheries of the Algarve (southern Portugal). *Journal of Applied Ichthyology* **19**:394-396.

Borme D, Tirelli V, Brandt SB, Umani SF, Arneri E. 2009. Diet of *Engraulis encrasicolus* in the northern Adriatic Sea (Mediterranean): ontogenetic changes and feeding selectivity. *Marine Ecology Progress Series* **392**:193-209.

Brower JE, Zar JH, von Ende CN. 1998. Field and laboratory methods for general ecology. McGraw-Hill. Boston, Massachusetts.

Cabral HN, Murta AG. 2002. The diet of blue whiting, hake, horse mackerel and mackerel off Portugal. *Journal of Applied Ichthyology* **18**:14-23.

Calbet A, Landry M. 1999. Mesozooplankton influences on the microbial food web: Direct and indirect trophic interactions in the oligotrophic open ocean. *Limnology and Oceanography* **44**:1370-1380.

Caldeira RMA, Groom S, Miller P, Pilgrim D, Nezlin NP. 2002. Sea-surface signatures of the island mass effect phenomena around Madeira Island, Northeast Atlantic. *Remote Sensing of Environment* **80**:336-360.



- Caldeira RMA, Russell P, Amorim A. 2001. Evidence of an unproductive coastal front in Baía d'Abra, an embayment on the south east of Madeira Island, Portugal. *Bulletin of Marine Science* **69**:1057-1072.
- Cardona L, Quevedo IA, Borrell A, Aguilar A. 2012. Massive Consumption of Gelatinous Plankton by Mediterranean Apex Predators. *PLoS One* **7**:3.
- Carvalho N, Perrotta RG, Isidro E. 2002. Age, growth and maturity in the chub mackerel (*Scomber japonicus* Houttuyn, 1782) from the Azores. *Arquipélago – Life and Marine Sciences* **19A**:93-99.
- Castro JJ, Hernández-García V. 1995. Ontogenetic changes in mouth structures, foraging behaviour and habitat use of *Scomber japonicus* and *Illex coindetti*. *Scientia Marina* **59**:347-355.
- Castro JJ, Pino AS. 1995. Feeding preferences of *Scomber japonicus* in the Canary Islands area. *Scientia Marina* **59**:325-333.
- Castro JJ. 1993. Feeding ecology of chub mackerel *Scomber japonicus* in the Canary islands area. *South African Journal of Marine Science* **13**:323-328.
- Catanese G, Manchado M, Infante C. 2010. Evolutionary relatedness of mackerels of the genus *Scomber* based on complete mitochondrial genomes: Strong support to the recognition of Atlantic *Scomber colias* and Pacific *Scomber japonicus* as distinct species. *Gene* **452**:35-43.
- Chouvelon T, Chappuis A, Bustamante P, Lefebvre S, Mornet F, Guillou G, Violamer L, Dupuy C. 2014. Trophic ecology of European sardine *Sardina pilchardus* and European anchovy *Engraulis encrasicolus* in the Bay of Biscay (north-east Atlantic) inferred from  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$  values of fish and identified mesozooplanktonic organisms. *Journal of Sea Research* **85**:277-291.
- Chouvelon T, Violamer L, Dessier A, Bustamante P, Mornet F, Pignon-Mussaud C, Dupuy C. 2015. Small pelagic fish feeding patterns in relation to food resource variability: an isotopic investigation for *Sardina pilchardus* and *Engraulis encrasicolus* from the Bay of Biscay (north-east Atlantic). *Marine Biology* **162**:15-37.
- Christiansen B, Martin B, Hirsch S. 2009. The benthopelagic fish fauna on the summit of Seine Seamount, NE Atlantic: Composition, population structure and diets. *Deep-Sea Research II* **56**:2705-2712.
- Coelho PCT. 2009. Modelação do crescimento de *Sardina pilchardus* (Walbaum, 1792) em duas zonas (oceanograficamente distintas) da costa Portuguesa. Tese de mestrado - Faculdade de Ciências do Mar e do Ambiente da Universidade do Algarve.
- Colaço A, Giacomello E, Porteiro F, Menezes GM. 2013. Trophodynamic studies on the Condor seamount (Azores, Portugal, North Atlantic). *Deep-Sea Research II* **98**:178-189.
- Collette BB. 1986. Scombridae. Pages 981-997 in P. J. P. Whitehead, M. L. Bauchot, J. C. Hureau, J. Nielsen and E. Tortonese, editors. *Fishes of the North-eastern Atlantic and the Mediterranean*. UNESCO, Paris.
- Collette BB. 1999. Mackerels, molecules, and morphology. Pages 149–164 in B. Séret and J. Y.

Sire, editors. Proceedings. 5th Indo-Pacific Fish Conference. Nouméa, Paris.

Connan M, Bonnevie BT, Hagen C, van der Lingen CD, McQuaid C. 2017. Diet specialization in a colonial seabird studied using three complementary dietary techniques: effects of intrinsic and extrinsic factors. *Marine Biology* **164**:171.

Conway DVP. 2012. Marine zooplankton of southern Britain. Part 2: Arachnida, Pycnogonida, Cladocera, Facetotecta, Cirripedia and Copepoda. No 26 in A.W.G. John editors. Occasional Publications. Marine Biological Association of the United Kingdom. Plymouth, United Kingdom.

Conway DVP. 2015. Marine zooplankton of southern Britain. Part 3: Ostracoda, Stomatopoda, Nebaliacea, Mysida, Amphipoda, Isopoda, Cumacea, Euphausiacea, Decapoda, Annelida, Tardigrada, Nematoda, Phoronida, Bryozoa, Entoprocta, Brachiopoda, Echinodermata, Chaetognatha, Hemichordata and Chordata. No 27 in A.W.G. John editors. Occasional Publications. Marine Biological Association of the United Kingdom. Plymouth, United Kingdom.

Correia E, Granadeiro JP, Mata VA, Regalla A, Catry P. 2019. Trophic interactions between migratory seabirds, predatory fishes and small pelagics in coastal West Africa. *Marine Ecology Progress Series* **622**:177-189.

Correia E, Granadeiro JP, Regalla A, Dias E, Almeida A, Catry P. 2017. Predatory pelagic fishes of the Bijagós Archipelago (Guinea-Bissau) show high overlap in diets dominated by sardinella. *African Journal of Marine Science* **39**:389-396.

Costa AM. 2019. Reproductive cycle of the blue jack mackerel, *Trachurus picturatus* (Bowdich, 1825), off the Portuguese continental coast. *Aquatic Living Resources* **32**:14.

Costa G, Santamaria MTG, Vasconcelos J, Pereira CB, Melo-Moreira E. 2013. Endoparasites of *Trachurus picturatus* (Pisces: Carangidae) from the Madeira and Canary Islands: Selecting parasites for use as tags. *Scientia Marina* **77**:61-68.

Costalago D, Garrido S, Palomera I. 2015. Comparison of the feeding apparatus and diet of European sardines *Sardina pilchardus* of Atlantic and Mediterranean waters: ecological implications. *Journal of Fish Biology* **86**:1348-1362.

Costalago D, Navarro J, Álvarez-Calleja I, Palomera I. 2012. Ontogenetic and seasonal changes in the feeding habits and trophic levels of two small pelagic fish species. *Marine Ecology Progress Series* **460**:169-181.

Costalago D, Palomera I, Tirelli V. 2014. Seasonal comparison of the diets of juvenile European anchovy *Engraulis encrasicolus* and sardine *Sardina pilchardus* in the Gulf of Lions. *Journal of Sea Research* **89**:64-72.

Cressey RF, Lachner EA. 1970. The Parasitic Copepod Diet and Life History of Diskfishes (Echeneidae). *American Society of Ichthyologists and Herpetologists* **2**:310-318.

Cresson P, Ruitton S, Ourgaud M, Harmelin-Vivien M. 2014. Contrasting perception of fish trophic level from stomach content and stable isotope analyses: A Mediterranean artificial reef experience. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* **452**:54-62.



- Cury P, Bakun A, Crawford RJM, Quiñones RA, Shannon LJ, Verheye HM. 2000. Small pelagics in upwelling systems: patterns of interaction and structural changes in “wasp-waist” ecosystems. *ICES Journal of Marine Science* **57**:603-618.
- Davenport R, Neuer S, Helmke P, Perez-Marrero J, Llinas O. 2002. Primary productivity in the northern Canary Islands region as inferred from SeaWiFS imagery. *Deep-Sea Research II* **49**:3481-3496.
- DeNiro MJ, Epstein S. 1981. Influence of diet on the distribution of nitrogen isotopes in animals. *Geochimica et Cosmochimica Acta* **45**:341-351.
- Deudero S, Morales Nin. 2001. Prey selectivity in planktivorous juvenile fishes associated with floating objects in the western Mediterranean. *Aquaculture Research* **32**:481-490.
- Deudero S. 2001. Interspecific trophic relationships among pelagic fish species underneath FADs. *Journal of Fish Biology* **58**:53-67.
- Direcção-Geral de Recursos Naturais, Segurança e Serviços Marítimos (DGRNSSM). 2019. Recursos da Pesca, Série Estatística Vol. 31A-B Ano 2018. Lisboa.
- Direcção-Geral de Recursos Naturais, Segurança e Serviços Marítimos (DGRNSSM). 2018. Recursos da Pesca, Série Estatística Vol. 30A-B Ano 2017. Lisboa.
- Dragovich A, Potthoff T. 1972. Comparative study of food of skipjack and yellowfin tunas off the coast of west Africa. *Fishery Bulletin* **70**:1087-1110.
- Drapeau L, Pecquerie L, Fréon P, Shannon LJ. 2004. Quantification and representation of potential spatial interactions in the southern Benguela ecosystem. *African Journal of Marine Science* **26**:141-159.
- Duffy LM et al. 2017. Global trophic ecology of yellowfin, bigeye, and albacore tunas: Understanding predation on micronekton communities at ocean-basin scales. *Deep-Sea Research II* **140**:55-73.
- Edwards M, Richardson AJ. 2004. Impact of climate change on marine pelagic phenology and trophic mismatch. *Nature* **430**:881-883.
- Elizalde M, Weber O, Pacual A, Sorbe JC, Etcheber H. 1999. Benthic response of *Munnopsurus atlanticus* (Crustacea Isopoda) to the carbon content of the near-bottom sedimentary environment on the southern margin of the Cap-Ferret Canyon (Bay of Biscay, northeastern Atlantic Ocean). *Deep-Sea Research II* **46**:2331-2344.
- Espinoza P, Bertrand A. 2008. Revisiting Peruvian anchovy (*Engraulis ringens*) trophodynamics provides a new vision of the Humboldt Current system. *Progress in Oceanography* **79**:215-227.
- Feijó D, Marçalo A, Bento T, Barra J, Marujo D, Correia M, Silva A. 2018. Trends in the activity pattern, fishing yields, catch and landing composition between 2009 and 2013 from onboard observations in the Portuguese purse seine fleet. *Regional Studies in Marine Science* **23**:97-106.
- Fernández R, García-Tiscar S, Santos MB, López A, Martínez-Cedeira JA, Newton J, Pierce GJ.

2011. Stable isotope analysis in two sympatric populations of bottlenose dolphins *Tursiops truncatus*: evidence of resource partitioning?. *Marine Biology* **158**:1043-1055.
- Fock H, Uiblein F, Köster F, von Weternhagen H. 2002. Biodiversity and species-environment relationships of the demersal fish assemblage at the Great Meteor Seamount (subtropical NE Atlantic), sampled by different trawls. *Marine Biology* **141**:185-199.
- Froese. 1998. Length-weight relationships for 18 less-studied fish species. *Journal of Applied Ichthyology* **14**:117-118.
- Fromentin JM, Planque B. 1996. *Calanus* and environment in the eastern North Atlantic. II. Influence of the North Atlantic Oscillation on *C. finmarchicus* and *C. helgolandicus*. *Marine Ecology Progress Series* **134**:111-118.
- Fry B, Quiñones R. 1994. Biomass spectra and stable isotope indicators of trophic level in zooplankton of the northwest Atlantic. *Marine Ecology Progress Series* **112**:201-204.
- Fry B, Sherr EB. 1989.  $\delta^{13}\text{C}$  Measurements as Indicators of Carbon Flow in Marine and Freshwater Ecosystems. Pages 196-229 in *Ecological Studies (Analysis and Synthesis)* and P. W. Rundel, J. R. Ehleringer, K. A. Nagy. Springer, New York, NY.
- Garcia A, Pereira JG, Canha A, Reis D, Diogo H. 2015. Life history parameters of blue jack mackerel *Trachurus picturatus* (Teleostei: Carangidae) from north-east Atlantic. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* **95**:401-410.
- Garrido S, Ben-Hamadou R, Oliveira PB, Cunha ME, Chícharo MA, Van der Lingen CD. 2008. Diet and feeding intensity of sardine *Sardina pilchardus*: correlation with satellite-derived chlorophyll data. *Marine Ecology Progress Series* **354**:245-256.
- Garrido S, Murta AG. 2011. Interdecadal and spatial variations of diet composition in horse mackerel *Trachurus trachurus*. *Journal of Fish Biology* **79**:2034-2042.
- Garrido S, Silva A, Pastor J, Dominguez R, Silva AV, Santos AM. 2015. Trophic ecology of pelagic fish species off the Iberian coast: diet overlap, cannibalism and intraguild predation. *Marine Ecology Progress Series* **539**:271-286.
- Ginderdeuren KV, Vandendriessche S, Prössler Y, Matola H, Vincx M, Hostens K. 2014. Selective feeding by pelagic fish in the Belgian part of the North Sea. *ICES Journal of Marine Science* **71**:808-820.
- Gonçalves P, Henriques E, Angélico MM. 2013. Co-occurrence of *Trachurus trachurus* and *Trachurus picturatus* spawners in Atlantic Iberian waters and the ability to distinguish their eggs in plankton samples. *Fisheries Research* **138**:139-145.
- Granadeiro JP, Monteiro LR, Furness RW. 1998. Diet and feeding ecology of Cory's shearwater *Calonectris diomedea* in the Azores, north-east Atlantic. *Marine Ecology Progress Series* **166**:267-276.
- Granadeiro JP, Monteiro LR, Silva MC, Furness R. 2002. Diet of Common Terns in the Azores, Northeast Atlantic. *Waterbird Society* **25**:149-155.

- Granadeiro JP, Silva M. 2000. The use of otoliths and vertebrae in the identification and size-estimation of fish in predator-prey studies. *Cybium – International Journal of Ichthyology* **24**:383-393.
- Griffiths SP, Olson RJ, Watters GM. 2013. Complex wasp-waist regulation of pelagic ecosystems in the Pacific Ocean. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* **23**:459-475.
- Gushchin AV, Corten A. 2017. Feeding of Pelagic Fish in Waters of Mauritania: Atlantic Chub mackerel *Scomber colias*, Atlantic horse mackerel *Trachurus trachurus*, Cunene horse mackerel *Trachurus trecae*. *Journal of Ichthyology* **57**:410-423.
- Habashi B, Wojciechowski J. 1973. Observations on the biology of *Scomber japonicus* off northwest Africa. Academy of Agriculture Faculty of Marine Fisheries. Poland.
- Halvorsen E, Hirst AG, Batten SD, Tande KS, Lampitt RS. 2001. Diet and community grazing by copepods in an upwelled filament off the NW coast of Spain. *Progress in Oceanography* **51**:399-421.
- Hays GC, Richardson AJ, Robinson C. 2005. Climate change and marine plankton. *Trends in Ecology & Evolution* **20**:337-344.
- Hedeholm R, Grønkjær P, Rysgaard S. 2012. Feeding ecology of capelin (*Mallotus villosus* Müller) in West Greenland waters. *Polar Biology* **35**:1533-1543.
- Hermida M, Delgado J. 2016. High trophic level and low diversity: Would Madeira benefit from fishing down?. *Marine Policy* **73**:130-137.
- Heron AC, McWilliam PS, Pont GD. 1988. Length-weight relation in the salp *Thalia democratica* and potential of salps as a source of food. *Marine Ecology Progress Series* **42**:125-132.
- Hirsch S, Christiansen B. 2010. The trophic blockage hypothesis is not supported by the diets of fishes on Seine Seamount. *Marine Ecology* **31**:107-120.
- Hobson KA, Fisk A, Karnovsky N, Holst M, Gagno J, Fortier M. 2002. A stable isotope ( $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$ ) model for the North Water food web: implications for evaluating trophodynamics and the flow of energy and contaminants. *Deep-Sea Research II* **49**:5131-5150.
- Hop H, Gjøsæter H. 2013. Polar cod (*Boreogadus saida*) and capelin (*Mallotus villosus*) as key species in marine food webs of the Arctic and the Barents Sea. *Marine Biology Research* **9**:878-894.
- Hopkins CCE, Tande KS, Grønvik S. 1984. Ecological investigations of the zooplankton community of Balsfjorden, Northern Norway: an analysis of growth and overwintering tactics in relation to the niche and environment in *Metridia longa* (Lubbock), *Calanus finmarchicus* (Gunnerus), *Thysanoessa inermis* (Krøyer) and *T. rachi* (M. Sars). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* **82**:77-99.
- Hubold G. 1985. Stomach Contents of the Antarctic Silverfish *Pleuragramma antarcticum* from the Southern and Eastern Weddell Sea (Antarctica). *Polar Biology* **5**:43-48.

Hyslop EJ. 1980. Stomach contents analysis – a review of methods and their application. *Journal of Fish Biology* **17**:411-429.

ICNF Madeira. 2019. Áreas classificadas da RAM. Available from <http://www2.icnf.pt/portal/pn/biodiversidade/rn2000/rn-pt/RN-Madeira> (accessed September 15, 2019).

ICNF. 2019. RN2000 na Região Autónoma da Madeira. Available from <http://www2.icnf.pt/portal/pn/biodiversidade/rn2000/rn-pt/RN-Madeira> (accessed September 15, 2019).

Infante C, Blanco E, Zuasti E, Crespo A, Manchado M. 2007. Phylogenetic differentiation between Atlantic *Scomber colias* and Pacific *Scomber japonicus* based on nuclear DNA sequences. *Genetica* **130**:1-8.

Irigoin X, Harris RP, Head RN, Harbour D. 2000. The influence of diatom abundance on the egg production rate of *Calanus helgolandicus* in the English Channel. *Limnology and Oceanography* **45**:1433-1439.

Isidro HA. 1990. Age and growth of *Trachurus picturatus* (Bowdich, 1825) (Teleostei: Carangidae) from the Azores. *Arquipélago – Life and Earth Sciences* **8**:45-54.

IUCN. 2006. The IUCN Red List of Threatened Species version 2006. IUCN (International Union for the Conservation of Nature). Available from <https://www.iucnredlist.org/> (accessed September 2019).

IUCN. 2011. The IUCN Red List of Threatened Species version 2011. IUCN (International Union for the Conservation of Nature). Available from <https://www.iucnredlist.org/> (accessed September 2019).

IUCN. 2015. The IUCN Red List of Threatened Species version 2015. IUCN (International Union for the Conservation of Nature). Available from <https://www.iucnredlist.org/> (accessed September 2019).

IUCN. 2018. The IUCN Red List of Threatened Species version 2015. IUCN (International Union for the Conservation of Nature). Available from <https://www.iucnredlist.org/> (accessed September 2019).

Jackson AL, Inger R, Parnell AC, Bearhop S. 2011. Comparing isotopic niche widths among and within communities: SIBER–Stable Isotope Bayesian Ellipses in R. *Journal of Animal Ecology* **80**:595-602.

James AG. 1987. Feeding ecology, diet and field-based studies on feeding selectivity of the Cape anchovy *Engraulis capensis* Gilchrist. *South African Journal of Marine Science* **5**:673-692.

Jardas I, Santic M, Pallaoro A. 2004. Diet composition and feeding intensity of horse mackerel, *Trachurus trachurus* (Osteichthyes: Carangidae) in the eastern Adriatic. *Marine Biology* **144**:1051-1056.

Jurado-Ruzafa A, Santamaría MTG. 2012. Reproductive biology of the blue jack mackerel,

*Trachurus picturatus* (Bowdich, 1825), off the Canary Island. Journal of Applied Ichthyology **29**:526-531.

Jurado-Ruzafa A, Santamaría MTG. 2018. Age, growth and natural mortality of blue jack mackerel *Trachurus picturatus* (Carangidae) from the Canary Islands, Spain (NW Africa). African Journal of Marine Science **40**:451-460.

Kabata Z. 1982. Copepoda (Crustacea) Parasitic on Fishes: Problems and Perspectives. Advances in Parasitology **19**:1-71.

Kec VC, Zorica B. 2013. Length–weight relationship, age, growth and mortality of Atlantic chub mackerel *Scomber colias* in the Adriatic Sea. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom **93**:341-349.

Kinzer J, Bottger-Schnack R, Schulz K. 1993. Aspects of horizontal distribution and diet of myctophid fish in the Arabian Sea with reference to the deep water oxygen deficiency. Deep-Sea Research II **40**:783-800.

Kling GW, Fry B. 1992. Stable isotopes and planktonic trophic structure in arctic lakes. Ecology **73**:561-566.

Koppelman R, Weikert H. 2003. Vertical distribution of mesozooplankton and its  $\delta^{15}\text{N}$  signature at a deep-sea site in the Levantine Sea (eastern Mediterranean) in April 1999. Journal of Geophysical Research **108**:C9.

Layman CA et al. 2012. Applying stable isotopes to examine food-web structure: an overview of analytical tools. Biological Reviews **87**:545-562.

Lewis J, Hallett R. 1997. Lingulodinium polyedrum (*Gonyaulax polyedra*) a blooming dinoflagellate. Volume 35 in R. N. Gibson and M. Barnes. Oceanography And Marine Biology. Applied Ecology Research Group, School of Biological and Health Sciences, University of Westminster, 115 New Cavendish Street, London.

Logan JM, Jardine TD, Miller TJ, Bunn SE, Cunjak RA, Lutcavage ME. 2008. Lipid corrections in carbon and nitrogen stable isotope analyses: comparison of chemical extraction and modelling methods. Journal of Animal Ecology **77**:838-846.

Lopes RM, Dam HG, Aquino NA, Monteiro-Ribas W, Rull L. 2007. Massive egg production by a salp symbiont, the poecilostomatoid copepod *Sapphirina angusta* dana, 1849. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology **348**:145-153.

Lorenzo JM, Pajuelo JG, Ramos A. 1995. Growth of the chub mackerel *Scomber japonicus* (Pisces: Scombridae) off the Canary Islands. Scientia Marina **59**:287-291.

Lorenzo JM, Pajuelo JG. 1996. Growth and reproductive biology of chub mackerel *Scomber japonicus* off the Canary Islands. South African Journal of Marine Science **17**:275-280.

Louw GG, Van der Lingen CD, Gibbons MJ. 1998. Differential feeding by sardine *Sardinops Sagax* and anchovy *Engraulis capensis* recruits in mixed shoals. South African Journal of Marine Science **19**:227-232.

- Madigan DJ, Carlisle AB, Dewar H, Snodgrass OE, Litvin SY, Micheli F, Block BA. 2012. Stable Isotope Analysis Challenges Wasp-Waist Food Web Assumptions in an Upwelling Pelagic Ecosystem. *Scientific Reports* **2**:654.
- Marçalo A, Nicolau L, Giménez J, Ferreira M, Santos J, Araújo H, Silva A, Vingada J, Pierce GJ. 2018. Feeding ecology of the common dolphin (*Delphinus delphis*) in Western Iberian waters: has the decline in sardine (*Sardina pilchardus*) affected dolphin diet?. *Marine Biology* **165**:44.
- Marques V, Chaves C, Morais A, Cardador F, Stratoudakis Y. 2005. Distribution and abundance of snipefish (*Macroramphosus* spp.) off Portugal (1998-2003). *Scientia Marina* **69**:563-576.
- Martin B, Nellen W. 2004. Composition and distribution of zooplankton at the Great Meteor Seamount, subtropical North-east Atlantic. *Archive of Fishery and Marine Research* **51**:89-100.
- Martins AM, Amorim ASB, Figueiredo MP, Sousa RJ, Mendonça AP, Bashmachnikov IL, Carvalho DS. 2007. Sea Surface Temperature (AVHRR, MODIS) and Ocean Colour (MODIS) seasonal and interannual variability in the Macaronesian islands of Azores, Madeira, and Canaries. 67430A. SPIE Remote Sensing, Florence, Italy.
- Martins HR. 1982. Biological studies of the exploited stock of *Loligo forbesi* (Mollusca: Cephalopoda) in the Azores. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* **62**:799-808.
- Martins I, Pereira JC, Ramos JA, Jørgensenb SE. 2004. Modelling the effects of different quality prey fish species and of food supply reduction on growth performance of Roseate Tern chicks. *Ecological Modelling* **177**:95-106.
- Martins MM, Skagen D, Marques V, Zwolinski J, Silva A. 2013. Changes in the abundance and spatial distribution of the Atlantic chub mackerel (*Scomber colias*) in the pelagic ecosystem and fisheries off Portugal. *Scientia Marina* **77**:551-563.
- Martins MM. 2007. Growth variability in Atlantic mackerel (*Scomber scombrus*) and Spanish mackerel (*Scomber japonicus*) off Portugal. *ICES Journal of Marine Science* **64**:1785-1790.
- Mateo MA, Serrano O, Serrano L, Michener RH. 2008. Effects of sample preparation on stable isotopes ratios of carbon and nitrogen in marine invertebrates: implications for food web studies using stable isotopes. *Oecologia* **157**:105-115.
- May JL, Maxwell JGH. 1986. Trawl fish from temperate waters of Australia. CSIRO Division of Fisheries Research, Tasmania.
- Menden-Deuer S, Lessard EJ. 2000. Carbon to volume relationships for dinoflagellates, diatoms, and other protist plankton. *Limnology and Oceanography* **45**:569-579.
- Mendes B, Fonseca P, Campos A. 2004. Weight-length relationships for 46 fish species of the Portuguese west coast. *Journal of Applied Ichthyology* **20**:355-361.
- Menezes GM, Rosa A, Melo O, Pinho MR. 2009. Demersal fish assemblages off the Seine and Sedlo seamounts (northeast Atlantic). *Deep-Sea Research II* **56**:2683-2704.



- Menezes GM, Sigler MF, Silva HM, Pinho MR. 2006. Structure and zonation of demersal fish assemblages off the Azores Archipelago (mid-Atlantic). *Marine Ecology Progress Series* **324**:241-260.
- Moita MT. 2001. Estrutura, Variabilidade e Dinâmica do Fitoplâncton na Costa de Portugal Continental. Tese de doutoramento - Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.
- Montoya JP, Carpenter EJ, Capone DG. 2002. Nitrogen fixation and nitrogen isotope abundances in zooplankton of the oligotrophic North Atlantic. *Limnology and Oceanography* **47**:1617-1628.
- Morales CE, Harris RP, Head RN, Tranter PRG. 1993. Copepod grazing in the oceanic northeast Atlantic during a 6 week drifting station: the contribution of size classes and vertical migrants. *Journal of Plankton Research* **15**:185-211.
- Morato T, Solà E, Grós MP, Menezes G. 1999. Diets of forkbeard (*Phycis phycis*) and conger eel (*Conger conger*) off the Azores during spring of 1996 and 1997. *Arquipélago – Life and Marine Sciences* **17A**:51-64.
- Morato T, Solà E, Grós MP, Menezes G. 2003. Diets of thornback ray (*Raja clavata*) and tope shark (*Galeorhinus galeus*) in the bottom longline fishery of the Azores, northeastern Atlantic. *Fishery Bulletin* **101**:509-602.
- Moreira C, Froufe E, Sial AN, Caeiro A, Vaz-Pires P, Correia AT. 2018. Population structure of the blue jack mackerel (*Trachurus picturatus*) in the NE Atlantic inferred from otolith microchemistry. *Fisheries Research* **197**:113-122.
- Mytilineou C, Politou CY, Papconstantinou C, Kavadas S, D’Onghia G, Sion L. 2005. Deep-water fish fauna in the Eastern Ionian Sea. *Belgian Journal of Zoology* **135**:229-233.
- Nelson JS. 1994. *Fishes of the world* – Third edition. John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Neves V, Nolf D, Clarke M. 2012. Spatio-temporal variation in the diet of Cory’s shearwater *Calonectris diomedea* in the Azores archipelago, northeast Atlantic. *Deep-Sea Research I* **70**:1-13.
- Nikolioudakis N, Isari S, Pitta P, Somarakis S. 2012. Diet of sardine *Sardina pilchardus*: an ‘end-to-end’ field study. *Marine Ecology Progress Series* **453**:173-188.
- Nunes VL, Granadeiro JP, Fonseca J, Menezes D, Zino F, Catry P, Silva MC. 2019. What’s for dinner? Diet analysis and feeding areas of two endangered species of NE Atlantic seabirds breeding asynchronously. Poster session presented at 5<sup>th</sup> Annual Meeting Frontiers in E3, Lisbon.
- Oksanen J. 2015. Multivariate Analysis of Ecological Communities in R: vegan tutorial. R package version 2.3.0. Available from <http://cc.oulu.fi/~jarioksa/opetus/metodi/vegantutor.pdf> (accessed May 2018).
- Paiva VH, Xavier J, Geraldés P, Ramirez I, Garthe S, Ramos JA. 2010. Foraging ecology of Cory’s shearwaters in different oceanic environments of the North Atlantic. *Marine Ecology Progress Series* **410**:257-268.

- Pakhorukov NP. 2008. Visual Observations of Fish from Seamounts of the Southern Azores Region (the Atlantic Ocean). *Journal of Ichthyology* **48**:114-123.
- Palomera I, Olivar MP, Salat J, Sabatés A, Coll M, García A, Morales-Nin B. 2007. Small pelagic fish in the NW Mediterranean Sea: An ecological review. *Progress in Oceanography* **74**:377-396.
- Petrakis G, Stergiou KI. 1995. Weight-length relationships for 33 fish species in Greek waters. *Fisheries Research* **21**:465-469.
- Phillips DI, Inger R, Bearhop S, Jackson AL, Moore JW, Parnell AC, Semmens BX, Ward EJ. 2014. Best practices for use of stable isotope mixing models in food-web studies. *Canadian Journal of Zoology* **92**:823-835.
- Pierce GJ, Boyle PR, Hastie LC, Santos MB. 1994. Diets of squid *Loligo forbesi* and *Loligo vulgaris* in the northeast Atlantic. *Fisheries Research* **21**:149-163.
- Pillar SC, Barange M. 1998. Feeding habits, daily ration and vertical migration of the cape horse mackerel off South Africa. *South African Journal of Marine Science* **19**:263-274.
- Pimm SL, Lawton JH, Cohen JE. 1991. Food web patterns and their consequences. *Nature* **350**:669-674.
- Pinkas L, Oliphant MS, Iverson ILK. 1970. Food Habits of Albacore, Bluefin Tuna, and Bonito In California Waters. *Fish Bulletin* **152**. UC San Diego: Library – Scripps Collection.
- Planque B, Taylor AH. 1998. Long-term changes in zooplankton and the climate of the North Atlantic. *ICES Journal of Marine Science* **55**:644-654.
- Porfírio ACM. 2017. Biologia do Crescimento da Cavala (*Scomber colias*) na Costa Portuguesa. Tese de mestrado - Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.
- Post DM, Craig AL, Arrington DA, Takimoto G, Quattrochi J, Montaña CG. 2007. Getting to the fat of the matter: models, methods and assumptions for dealing with lipids in stable isotope analyses. *Oecologia* **152**:179-189.
- Post DM. 2002. Using stable isotopes to estimate trophic position: models, methods and assumptions. *Ecology* **83**:703-718.
- Preston T, Owens NJP. 1983. Interfacing an Automatic Elemental Analyser with an Isotope Ratio Mass Spectrometer: the Potential for Fully Automated Total Nitrogen and Nitrogen-15 Analysis. *Analyst* **108**:971-977.
- Queiroga H. 1996. Distribution and drift of the crab *Carcinus maenas* (L.) (Decapoda, Portunidae) larvae over the continental shelf off northern Portugal in April 1991. *Journal of Plankton Research* **18**:1981-2000.
- Quérouil S, Silva MA, Cascão I, Magalhães S, Seabra MI, Machete MA, Santos R. 2008. Why Do Dolphins Form Mixed-Species Associations in the Azores?. *Ethology* **114**:1183-1194.
- Rakesh M, Taman AV, Sudarsan D. 2006. Discriminating zooplankton assemblages in neritic



and oceanic waters: a case for the northeast coast of India, Bay of Bengal. *Marine Environmental Research* **61**: 93-109.

Ramos AG, Lorenzo JM, Pajuelo JG. 1995. Food habits of bait-caught skipjack tuna *Katsuwonus pelamis* off the Canary Islands. *Scientia Marina* **59**:365-369.

Ramos JA, Solá E, Monteiro LR. 1998. Prey delivered to roseate tern chicks in the Azores. *Journal of Field Ornithology* **69**:419-429,

Riede K. 2004. Global register of migratory species - from global to regional scales. Final Report of the R&D-Projekt 808 05 081. Federal Agency for Nature Conservation, Bonn, Germany.

Rizkalla SI, Faltas SN. 1997. Feeding Habits of Chub Mackerel (*Scomber japonicus*) in Egyptian Mediterranean Waters. *Marine Science Journal* **8**:127-136.

Romero J, Catry P, Menezes D, Coelho N, Silva JP, Granadeiro JP. 2019. A gull that scarcely ventures on the ocean: yellow-legged gulls *Larus michahellis atlantis* on the oceanic island of Madeira. *Ardeola* **66**:101-112.

Rose M. 1933. Faune de France Copépodes Pélagiques. Fédération Française des Sociétés de Sciences Naturelles. Paris.

Rumolo P, Bonanno A, Barra M, Fanelli E, Calabrò M, Genovese S, Ferreri R, Mazzola S, Basilone G. 2016. Spatial variations in feeding habits and trophic levels of two small pelagic fish species in the central Mediterranean Sea. *Marine Environmental Research* **115**:65-77.

Saiz E, Calbet A, Atienza D, Alcaraz M. 2007. Feeding and production of zooplankton in the Catalan Sea (NW Mediterranean). *Progress in Oceanography* **74**:313-328.

Santic M, Jardas I, Pallaoro A. 2005. Feeding habits of horse mackerel, *Trachurus trachurus* (Linnaeus, 1758), from the central Adriatic Sea. *Journal of Applied Ichthyology* **21**:125-130.

Santos MN, Gaspar MB, Vasconcelos P, Monteiro CC. 2002. Weight-length relationships for 50 selected fish species of the Algarve coast (southern Portugal). *Fisheries Research* **59**:289-295.

Schoener TW. 1968. The anolis lizards of bimini: resource partitioning in a complex fauna. *Ecology* **49**:704-726.

Sever TM, Bayhan B, Bilecenoglu M, Mavili S. 2006. Diet composition of the juvenile chub mackerel (*Scomber japonicus*) in the Aegean Sea (Izmir Bay, Turkey). *Journal of Applied Ichthyology* **22**:145-148.

Shannon LJ, Cury PM, Jarre A. 2000. Modelling effects of fishing in the Southern Benguela ecosystem. *ICES Journal of Marine Science* **57**:720-722.

Silberberger MC, Renaud PE, Kröncke I, Reiss H. 2018. Food-Web Structure in Four Locations Along the European Shelf Indicates Spatial Differences in Ecosystem Functioning. *Frontiers in Marine Science* **5**:119.

Siokou-Frangou I, Christaki U, Mazzocchi MG, Montresor M, Alcalá MR, Vaqué D, Zingone A.

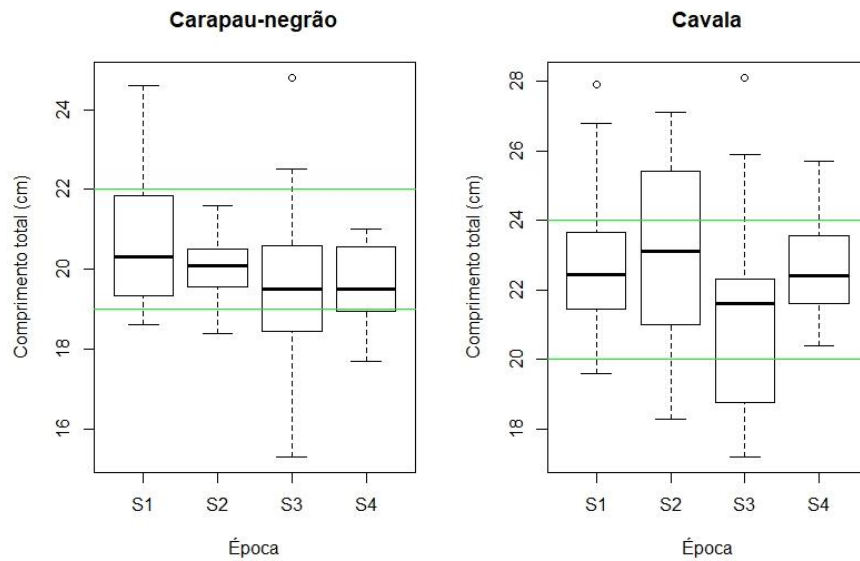
2010. Plankton in the open Mediterranean Sea: a review. *Biogeosciences* **7**:1543-1586.
- Smith C, Reay P. 1991. Cannibalism in teleost fish. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* **1**:41-64.
- Smyntek PM, Teece MA, Schulz KL, Thackeray SJ. 2007. A standard protocol for stable isotope analysis of zooplankton in aquatic food web research using mass balance corrections models. *Limnology and Oceanography* **52**:2135-2146.
- Sommer U. 2000. Scarcity of medium-sized phytoplankton in the northern Red Sea explained by strong bottom-up and weak top-down control. *Marine Ecology Progress Series* **197**:19-25.
- Steinberg DK, Carlson CA, Bates NR, Johnson RJ, Michaels AF, Knap AH. 2001. Overview of the US JGOFS Bermuda Atlantic Time-series Study (BATS): a decade-scale look at ocean biology and biogeochemistry. *Deep-Sea Research II* **48**:1405-1447.
- Stibor H et al. 2004. Copepods act as a switch between alternative trophic cascades in marine pelagic food webs. *Ecology Letters* **7**:321-328.
- Suca JJ, Pringle JW, Knorek ZR, Hamilton SL, Richardson DE, Llopiz JK. 2018. Feeding dynamics of Northwest Atlantic small pelagic fishes. *Progress in Oceanography* **165**:52-62.
- Sweeting CJ, Barry JT, Polunin NVC, Jennings S. 2007. Effects of body size and environment on diet-tissue  $\delta^{13}\text{C}$  fractionation in fishes. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* **352**:165-176.
- Takai N, Hirose N, Osawa T, Hagiwara K, Kojima T, Okazaki Y, Kuwae T, Taniuchi T, Yohihara K. 2007. Carbon source and trophic position of pelagic fish in coastal waters of south-eastern Izu Peninsula, Japan, identified by stable isotope analysis. *Fisheries Science* **73**:593-608.
- Tanaka H, Takasuka A, Aoki I, Ohshimo S. 2008. Geographical variations in the trophic ecology of Japanese anchovy, *Engraulis japonicus*, inferred from carbon and nitrogen stable isotope ratios. *Marine Biology* **154**:557-568.
- Tieszen LL, Boutton TW, Tesdahl KG, Slade NA. 1983. Fractionation and turnover of stable carbon isotopes in animal tissues: Implications for  $\delta^{13}\text{C}$  analysis of diet. *Oecologia* **57**:32-37.
- Tiselius P, Fransson K. 2016. Daily changes in  $\delta^{15}\text{N}$  and  $\delta^{13}\text{C}$  stable isotopes in copepods: equilibrium dynamics and variations of trophic level in the field. *Journal of Plankton Research* **38**:751-761.
- Torres MA, Ramos F, Sobrino I. 2012. Length-weight relationships of 76 fish species from the Gulf of Cadiz (SW Spain). *Fisheries Research* **127-128**:171-175.
- Torres P, Cunha RT, Maia R, Rodrigues AS. 2014. Trophic ecology and bioindicator potential of the North Atlantic tope shark. *Science of the Total Environment* **408**:574-581.
- Trucco MI, Buratti CC. 2017. Taxonomic review of Argentine mackerel *Scomber japonicus* (Houttuyn, 1782) by phylogenetic analysis. *Molecular Biology Research Communications* **6**:141-152.

- Trueman CN, McGill RAR, Guyard PH. 2005. The effect of growth rate on tissue-diet isotopic spacing in rapidly growing animals. An experimental study with Atlantic salmon (*Salmo salar*). Rapid Communications in Mass Spectrometry **19**:3239-3247.
- Turner JT. 2004. The Importance of Small Planktonic Copepods and Their Roles in Pelagic Marine Food Webs. Zoological Studies **43**:255-266.
- Tuset VM, Lombarte A, Assis C. 2008. Otolith atlas for the western Mediterranean, north and central eastern Atlantic. Scientia Marina **72S1**:7-198.
- Utne KR, Huse G, Ottersen G, Holst JC, Zabavnikov V, Jacobsen JA, Óskarsson GJ, Nøttestad L. 2012. Horizontal distribution and overlap of planktivorous fish stocks in the Norwegian Sea during summers 1995–2006. Marine Biology Research **8**:420-441.
- Valdés ES, Shelton PA, Armstrong MJ, Field JG. 1987. Cannibalism in South African anchovy: egg mortality and egg consumption rates. South African Journal of Marine Science **5**:613-622.
- Valdés L, Déniz-González I. 2015. Oceanographic and biological features in the Canary Current Large Marine Ecosystem. Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO (IOC-UNESCO). IOC Technical Series 115, Paris.
- Valls M, Olivar MP, Puellas MIF, Molí B, Bernal A, Sweeting CJ. 2014. Trophic structure of mesopelagic fishes in the western Mediterranean based on stable isotopes of carbon and nitrogen. Journal of Marine Systems **138**:160-170.
- Van der Lingen CD. 2002. Diet of Sardine *Sardinops sagax* in the Southern Benguela Upwelling Ecosystem. South African Journal of Marine Science **24**:301-316.
- Varela JL, Rodríguez-Marín E, Medina A. 2013. Estimating diets of pre-spawning Atlantic bluefin tuna from stomach content and stable isotope analyses. Journal of Sea Research **76**:187-192.
- Vasconcelos J, Afonso-Dias M, Faria Graça. 2012. Atlantic chub mackerel (*Scomber colias*) spawning season, size and age at first maturity in Madeira waters. Arquipélago – Life and Marine Sciences **29**:43-51.
- Vasconcelos J, Alves A, Gouveia E, Faria G. 2006. Age and growth of the blue jack mackerel, *Trachurus picturatus* Bowdich, 1825 (Pisces: Teleostei) off Madeira archipelago. Arquipélago – Life and Marine Sciences **23A**:47-57.
- Vasconcelos J, Dias MA, Faria G. 2011. Age and growth of the Atlantic chub mackerel *Scomber colias* Gmelin, 1789 off Madeira Island. Arquipélago – Life and Marine Sciences **28**:57-70.
- Vasconcelos J, Faria G, Freitas R, Gordo LS. 2017. Fecundity regulation strategy of the blue jack mackerel, *Trachurus picturatus* (Bowdich, 1825), off Madeira Island (NE Atlantic). Fisheries Research **190**:150-156.
- Vasconcelos J, Sousa R, Riera R, Delgado J, Faria G, Gordo LS. 2018. Stock assessment of the blue jack mackerel, *Trachurus picturatus*, in the North- eastern Atlantic. Fisheries Management and Ecology **25**: 233-239.

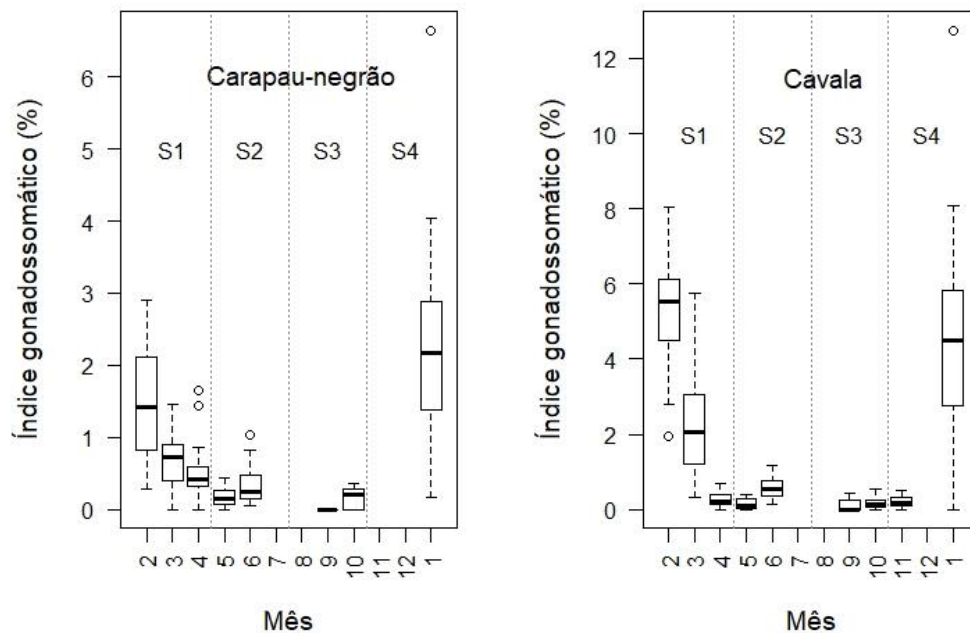
- Veiga P, Xavier JC, Assis CA, Erzini K. 2011. Diet of the blue marlin, *Makaira nigricans*, off the south coast of Portugal. *Marine Biology Research* **7**:820-825.
- Velasco EM, Arbol JD, Baro J, Sobrino I. 2011. Age and growth of the Spanish chub mackerel *Scomber colias* off southern Spain: a comparison between samples from the NE Atlantic and the SW Mediterranean. *Revista de Biología Marina y Oceanografía* **46**:27-34.
- Volkov AF. 2012. The Results of Zooplankton Studies in the Bering Sea under the NPAFC Program (BASIS Expedition). Part 1. Eastern Areas. *Journal of Marine Biology* **38**:474-494.
- Wahbi F, Tojo N, Ramzi A, Somoue L, Manchi K, Errhif A. 2015. Seasonal and size-dependent variability in diet of *Scomber colias* (Gmelin, 1789) of the Atlantic Coast of the Northwest Africa. *International Journal of Advanced Research* **3**:485-497.
- Wallace RK, Ramsey JS. 1983. Reliability in Measuring Diet Overlap. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **40**:347-351.
- Xavier JC, Magalhães MC, Mendonça AS, Antunes M, Carvalho N, Machete M, Santos RS, Paiva V, Hamer KC. 2011. Changes in the diet of cory's shearwaters *Calonectris diomedea* breeding in the Azores. *Marine Ornithology* **39**:129-134.
- Zanden MJV, Rasmussen JB. 2001. Variation in  $\delta^{15}\text{N}$  and  $\delta^{13}\text{C}$  trophic fractionation: Implications for aquatic food web studies. *Limnology and Oceanography* **46**:2061-2066.
- Zhukova NG, Nesterova VN, Prokopchuk IP, Rudneva GB. 2009. Winter distribution of euphausiids (*Euphausiacea*) in the Barents Sea (2000–2005). *Deep-Sea Research II* **56**:1959-1967.

## ANEXOS

### SECÇÃO 1: Características complementares da amostra populacional



**Figura S1.1** - Boxplot do comprimento total das espécies carapau-negrão e cavala por épocas do ano: Fevereiro-Abril (S1), Maio-Julho (S2), Agosto-Outubro (S3) e Novembro-Janeiro (S4). As linhas a verde representam os limites das classes de comprimento total definidas [19,0-21,9]cm para carapau-negrão e [20,0-23,9] para cavala.



**Figura S1.2** - Boxplot do índice gonadosomático (GSI) das espécies carapau-negrão e cavala por meses e épocas do ano: Fevereiro-Abril (S1), Maio-Julho (S2), Agosto-Outubro (S3) e Novembro-Janeiro (S4).

## SECÇÃO 2: Conteúdo de carbono (µg) das presas

**Tabela S2.1** – Grupo de presas identificado ao nível taxonómico mais detalhado e respectivo valor de conteúdo de carbono (µg) atribuído a cada presa. Referência ao estudo de onde foi retirado o valor de conteúdo de carbono; referência ao estudo de onde foi adaptado o tamanho médio; referência ao estudo de onde foi adaptado a fórmula de cálculo para o conteúdo de carbono. CL: Comprimento da carapaça; TL: comprimento total; L: comprimento. n.i.: não identificado; = : igual a.

Grupo de presa	Conteúdo de carbono (µg)	Referência do valor de conteúdo de carbono:	Referência do tamanho médio:	Referência da fórmula de cálculo para o conteúdo de carbono:
Fitoplâncton n.i.	0,00145	(Garrido et al. 2008)	-	-
Dinophyceae n.i.	0,00327	(Garrido et al. 2008)	-	-
Quisto de Dinophyceae	0,00327	(Garrido et al. 2008)	-	-
<i>Dinophysis</i> sp.	0,00495	(Garrido et al. 2008)	-	-
<i>Gonyaulax</i> sp.	0,00536	-	(Espinoza & Bertrand 2008)	(Espinoza & Bertrand 2008)
<i>Lingulodinium polyedra</i>	0,00369	-	-	(Lewis & Hallett 1997)
<i>Gymnodinium</i> sp.	0,00225	(Menden-Deuer & Lessard 2000)	-	-
<i>Scrippsiella</i> sp.	0,00123	(Garrido et al. 2008)	-	-
<i>Protoperdinium</i> sp.	0,02257	(Garrido et al. 2008)	-	-
<i>Prorocentrum</i> sp.	0,00205	(Garrido et al. 2008)	-	-
Bacillariophyceae n.i.	0,00088	Média dos valores de Bacillariophyceae deste estudo	-	-
Pinulada (Bacillariophyceae)	0,00072	(Garrido et al. 2008)	-	-
<i>Achnanthes</i> sp.	0,00145	= fitoplâncton n.i.	-	-
<i>Cocconeis</i> sp.	0,00006	-	(Espinoza & Bertrand 2008)	(Espinoza & Bertrand 2008)
Chlorophyta (fitoflagelado)	0,00145	= fitoplâncton n.i.	-	-
<i>Coccolithophora</i> sp.	0,00145	= fitoplâncton n.i.	-	-
Tintinnina n.i.	0,18062	(Garrido et al. 2008)	-	-
Equinodermata n.i. (larva)	1,85000	-	Larva de 1mm (Espinoza & Bertrand 2008)	(Espinoza & Bertrand 2008)
Foraminifera n.i.	0,01460	(Garrido et al. 2008)	-	-

Radiozoa n.i.	0,00045	-	-	(Espinoza & Bertrand 2008)
Crustacea n.i.	1,86038	(Garrido et al. 2008)	-	-
Ovos de Crustacea n.i.	0,01469	(Garrido et al. 2008)	-	-
Postura de Crustacea n.i.	0,86795	= ovo de Copepoda	-	-
Copepoda n.i.	4,07082	(Garrido et al. 2008)	-	-
Ovos de Copepoda	0,86795	(Garrido et al. 2008)	-	-
Saco de ovos de Copepoda	0,01469	(Garrido et al. 2008)	-	-
Calanoida n.i.	26,47974	=média dos valores das famílias/espécie de Calanoida deste estudo	-	-
<i>Acartia</i> sp.	4,02296	(Garrido et al. 2008)	-	-
<i>Chirundina</i> sp.	26,47974	= valor de Calanoida	-	-
<i>Calanus helgolandicus</i>	63,53851	(Garrido et al. 2008)	-	-
<i>Mesocalanus tenuicornis</i>	26,47974	=valor de Calanoida	-	-
<i>Candacia</i> sp.	23,42223	(Garrido et al. 2008)	-	-
<i>Eucalanus</i> sp.	30,03926	(Garrido et al. 2008)	-	-
<i>Euchaeta</i> sp.	37,00245	(Garrido et al. 2008)	-	-
<i>Heterorhabdus papilliger</i>	26,47974	=valor de Calanoida	-	-
<i>Metridia</i> sp.	48,66667	Média das médias de máximos e mínimos para cada género (Hopkins et al. 1984)	-	-
<i>Paracalanus</i> sp.	14,85697	(Garrido et al. 2008)	-	-
<i>Pleuromamma</i> sp.	22,02708	(Garrido et al. 2008)	-	-
<i>Scolecithrix</i> sp.	22,49178	Valor total de carbono/pelo número de ind. (Espinoza & Bertrand 2008)	-	-
<i>Temora longicornis</i>	38,84597	(Garrido et al. 2008)	-	-
<i>Temora stylifera</i>	6,27166	(Garrido et al. 2008)	-	-
<i>Corycaeus</i> sp.	12,98689	(Garrido et al. 2008)	-	-
<i>Oithona</i> sp.	0,93131	(Garrido et al. 2008)	-	-
<i>Oncaea</i> sp.	0,63272	(Garrido et al. 2008)	-	-

<i>Sapphirina</i> sp.	16,86000	-	TL (Lopes et al. 2007)	(Lopes et al. 2007)
Harpacticoida n.i.	4,84607	(Garrido et al. 2008)	-	-
Copepode parasita	4,07082	= Copepoda	-	-
Amphipoda n.i.	7,62509	(Garrido et al. 2008)	-	-
Decapoda n.i.	137,116	(Garrido et al. 2008)	-	-
Brachyura n.i.	43,14121	(Garrido et al. 2008)	-	-
Anomura n.i. – Megalopa	137,116	-	CL = 1333 µm Presente estudo	(Nikolioudakis et al. 2012)
Isopoda n.i.	80,000	(Elizalde et al. 1999)	-	-
Mysida n.i.	60,15672	(Garrido et al. 2008)	-	-
Ostracoda n.i.	2,55884	-	-	(Borme et al. 2009) juvenil de Ostracoda (Van der Lingen 2002)
Cirripedia n.i.	26,16838	(Garrido et al. 2008)	-	-
Bivalvia	45,49852	-	TL= 1,25mm (Espinoza & Bertrand 2008)	DW (James 1987) C (Van der Lingen 2002)
Veligera de lamelibrânquio (Bivalvia)	6,13745	(Garrido et al. 2008)	-	-
Cephalopoda	249260	-	TL = 8cm	(Espinoza & Bertrand 2008)
Gastropoda n.i.	8,47578	(Garrido et al. 2008)	-	-
Postura de Gastropoda	0,86795	= ovo de Copepoda	-	-
Pteropoda	4,36044	(Garrido et al. 2008)	-	-
Appendicularia	5,80192	(Garrido et al. 2008)	-	-
Salpidae	10,04400	-	L = 6,2 mm Valor médio do valor máximo e mínimo (Heron et al. 1988)	(Heron et al. 1988)
Pisces n.i.	625610	Média dos valores de Pisces no estudo	-	-
Ovos de Pisces	13,41405	(Garrido et al. 2008)	-	-
<i>Scomberesox saurus</i>	480262	-	TL = 5cm	(Santos et al. 2002)
Clupeidae n.i.	1126508	= <i>S. pilchardus</i>	-	-



<i>Sardina pilchardus</i>	1126508	-	TL = 8cm	(Coelho 2009)
<i>Scomber colias</i>	1051304	-	TL = 8cm	(Vasconcelos et al. 2011)
<i>Macroramphosus scolopax</i>	462907	-	TL = 5cm	(Espinoza & Bertrand 2008)
Myctophidae n.i.	7066,5	-	L = 2cm (Espinoza & Bertrand 2008)	(Froese 1998)

### SECÇÃO 3: Percentagem de conteúdo de carbono (CC%) (médio) das presas identificadas ao nível taxonómico mais detalhado

**Tabela S3.1** - Percentagem de conteúdo de carbono (CC%) (médio) das presas identificadas ao nível taxonómico mais detalhado nos estômagos de carapau-negrão e cavala, capturados ao largo da ilha da Madeira entre 2017 e 2018, representados como dieta anual (Anual) e por épocas do ano: Fevereiro-Abril (S1), Maio-Julho (S2), Agosto-Outubro (S3) e Novembro-Janeiro (S4). n: número de amostras analisadas. n.i.: não identificado. -: não analisado.

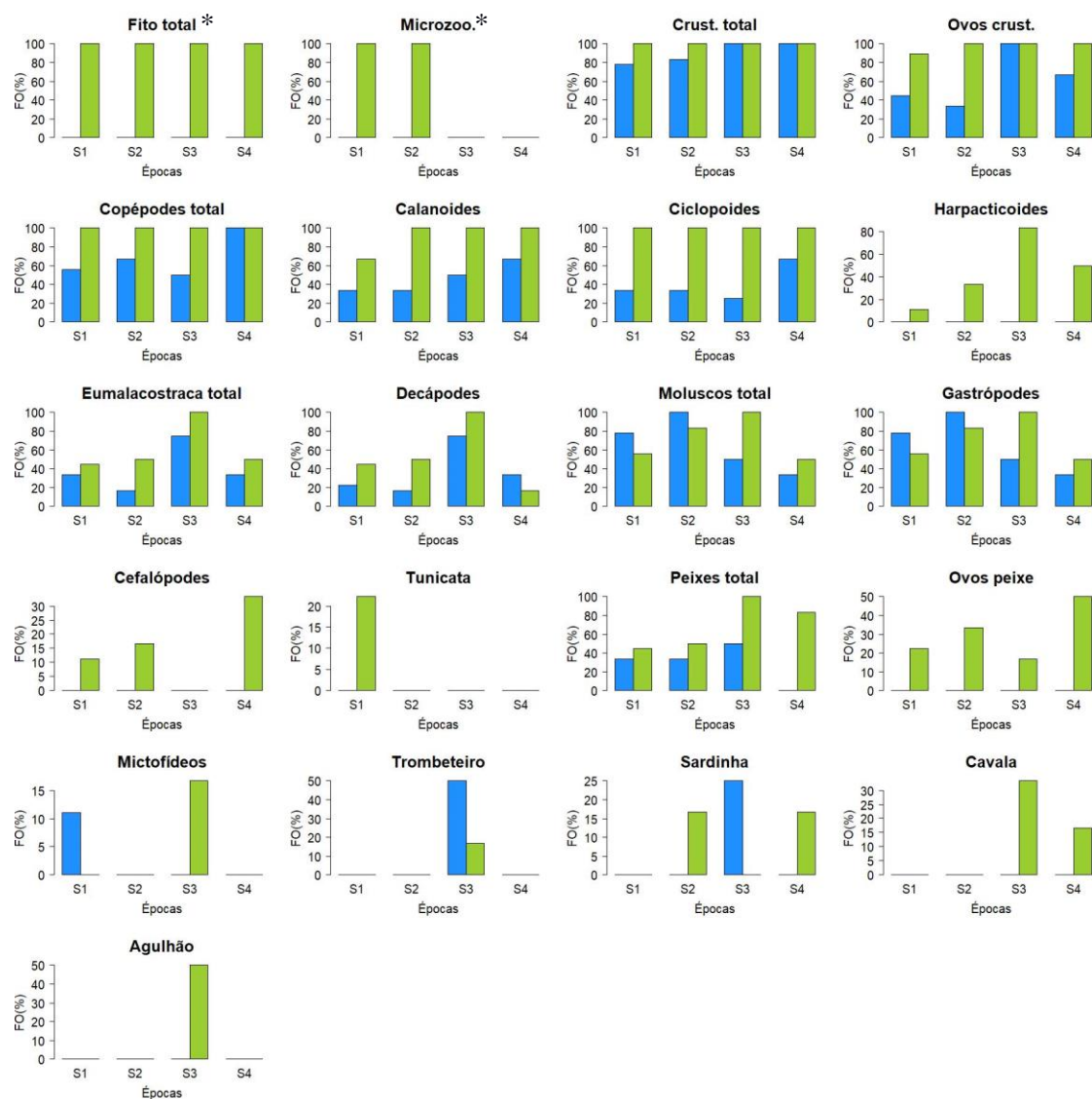
Taxa	Carapau-negrão					Cavala				
	CC%	CC%	CC%	CC%	CC% Anual	CC%	CC%	CC%	CC%	CC% Anual
	S1 n=9	S2 n=6	S3 n=4	S4 n=3		S1 n=9	S2 n=6	S3 n=6	S4 n=6	
<b>FITOPLÂNCTON total</b>	-	-	-	-	-	<b>3,8±7,0</b>	<b>0,3±0,4</b>	<b>&lt;0,1±&lt;0,1</b>	<b>0,2±0,3</b>	<b>1,4±4,4</b>
n.i.	-	-	-	-	-	0,6±1,2	<0,1±<0,1	0	0	0,2±0,8
Chromista										
<b>Dinophyceae total</b>	-	-	-	-	-	<b>2,8±4,9</b>	<b>0,3±0,4</b>	<b>&lt;0,1±&lt;0,1</b>	<b>0,1±0,3</b>	<b>1,0±3,1</b>
n.i.	-	-	-	-	-	2,2±4,1	0,2±0,4	<0,1±<0,1	0,1±0,2	0,8±2,6
Quisto	-	-	-	-	-	0,5±0,90	<0,1±<0,1	<0,1±<0,1	0	0,2±0,5
Dinophysiales										
<i>Dinophysis</i> sp.	-	-	-	-	-	0	<0,1±<0,1	0	0	<0,1±<0,1
Gonyaulacales										
<i>Gonyaulax</i> sp.	-	-	-	-	-	0	0	<0,1±<0,1	0	<0,1±<0,1
<i>Lingulodinium polyedra</i>	-	-	-	-	-	0,1±0,1	0	0	0	<0,1±0,1
Gymnodiniales										
<i>Gymnodinium</i> sp.	-	-	-	-	-	0	<0,1±<0,1	0	0	<0,1±<0,1
Peridinales										
<i>Scrippsiella</i> sp.	-	-	-	-	-	<0,1±<0,1	0	0	0	<0,1±<0,1
<i>Protoperidinium</i> sp.	-	-	-	-	-	0	<0,1±<0,1	0	0	<0,1±<0,1
Prorocentrales										
<i>Prorocentrum</i> sp.	-	-	-	-	-	0	0	0	<0,1±<0,1	<0,1±<0,1
<b>Bacillariophyceae total</b>	-	-	-	-	-	<b>0,3±0,5</b>	<b>&lt;0,1±&lt;0,1</b>	<b>&lt;0,1±&lt;0,1</b>	<b>&lt;0,1±&lt;0,1</b>	<b>0,1±0,3</b>
n.i.	-	-	-	-	-	0,2±0,3	<0,1±<0,1	<0,1±<0,1	<0,1±<0,1	0,1±0,2
Pinulada	-	-	-	-	-	0,1±0,2	<0,1±<0,1	<0,1±<0,1	<0,1±<0,1	<0,1±0,1
Achnanthes										

<i>Achnanthes</i> sp.	-	-	-	-	-	<0,1±<0,1	0	0	0	<0,1±<0,1
<i>Cocconeis</i> sp.	-	-	-	-	-	0	0	0	<0,1±<0,1	<0,1±<0,1
Plantae										
Chlorophyta (fitoflagelado)	-	-	-	-	-	<0,1±<0,1	<0,1±<0,1	0	0	<0,1±0,1
Protozoa										
<i>Coccolithophora</i> sp.	-	-	-	-	-	0,2±0,3	0	<0,1±<0,1	<0,1±<0,1	0,1±0,2
<b>ZOOPLÂNCTON</b>										
Ciliophora										
Oligotrichea										
Tintinnina n.i.	-	-	-	-	-	4,0±7,4	0,1±0,2	<0,1±<0,1	0,4±0,7	1,4 ±4,7
Echinodermata n.i. (larva)	-	-	-	-	-	4,5±10,2	0	0	0,5±0,9	1,6±6,3
Foraminifera n.i.	-	-	-	-	-	0,2±0,3	0	0	0	0,1±0,2
Radiozoa n.i.	-	-	-	-	-	0	<0,1±<0,1	0	0	<0,1±<0,1
<b>Crustacea total</b>	<b>49,1±45,1</b>	<b>35,3±34,5</b>	<b>49,4±49,4</b>	<b>99,4±0,9</b>	<b>52,3±44,6</b>	<b>59,5±41,6</b>	<b>33,0±46,1</b>	<b>0,3±0,2</b>	<b>31,8±44,7</b>	<b>34,3±44,3</b>
n.i.	15,0±23,7	3,1±3,1	0,5±0,8	10,9±14,5	8,5±17,3	3,3±3,2	0,5±0,7	<0,1±<0,1	0,7±0,9	1,4±2,4
Ovos n.i.	<0,1±<0,1	0,1±0,1	<0,1 ±<0,1	<0,1 ±<0,1	<0,1 ±0,1	0,4±1,0	16,6±23,5	<0,1±<0,1	0,5±1,0	3,9±13,0
Postura n.i.	0	0	0	0	0	0	0,1±0,1	<0,1±<0,1	<0,1±<0,1	<0,1±0,1
<b>Copepoda total</b>	<b>18,3±29,8</b>	<b>32,2±33,0</b>	<b>9,7±16,8</b>	<b>84,6 ±12,4</b>	<b>29,6±35,6</b>	<b>44,2±40,1</b>	<b>14,6±20,5</b>	<b>0,1±&lt;0,1</b>	<b>30,6±43,1</b>	<b>24,8±36,5</b>
n.i.	10,3±15,8	16,5±25,3	1,1±1,8	38,4±22,1	14,1 ±21,5	12,0 ±12,2	2,9±4,4	<0,1±<0,1	6,8±9,62	6,2±9,8
Sacos de ovos	0	0	0	0	0	0	<0,1±<0,1	0	<0,1±<0,1	<0,1±<0,1
<b>Calanoida total</b>	<b>7,5±16,7</b>	<b>9,7±14,0</b>	<b>8,2±14,3</b>	<b>46,1±32,6</b>	<b>13,5±22,8</b>	<b>26,0±31,3</b>	<b>7,7±11,9</b>	<b>&lt;0,1±&lt;0,1</b>	<b>17,3±24,7</b>	<b>14,2±24,4</b>
n.i.	7,2±16,6	0	0	0	2,9±11,2	3,3±4,7	<0,1±<0,1	<0,1±<0,1	0,4±0,9	1,2±3,1
<i>Acarthia</i> sp.	0	0	0	0	0	0,1±0,3	0	0	<0,1±<01	<0,1±0,2
<i>Chirundina</i> sp.	0	0	0,3±0,6	0	0,1±0,3	0	0	0	0	0
<i>Calanus helgolandicus</i>	0	0	0	0	0	2,4±6,7	<0,1±<0,1	0	1,0±2,2	1,0±4,1
<i>Mesocalanus tenuicornis</i>	0	0	0	0	0	1,0±2,8	<0,1±<0,1	0	0	0,3±1,7
<i>Candacia</i> sp.	<0,1±<0,1	5,8±12,9	0,9±1,6	15,9±11,6	3,9±9,6	14,2±23,4	3,9±5,5	<0,1±<0,1	7,3±10,2	7,2±15,6
<i>Eucalanus</i> sp.	0	0	0	0	0	0,6±1,6	0	0	0	0,2±1,0
<i>Euchaeta</i> sp.	0	3,9±8,7	0	0	1,1±4,9	3,2±6,1	0	0	0	1,1±3,8
<i>Heterorhabdus papilliger</i>	0	0	0	0	0	0	0,3±0,7	0	0	0,1±0,3
<i>Metridia</i> sp.	0	0	0	0	0	0,9±2,6	0	0	0	0,3±1,5

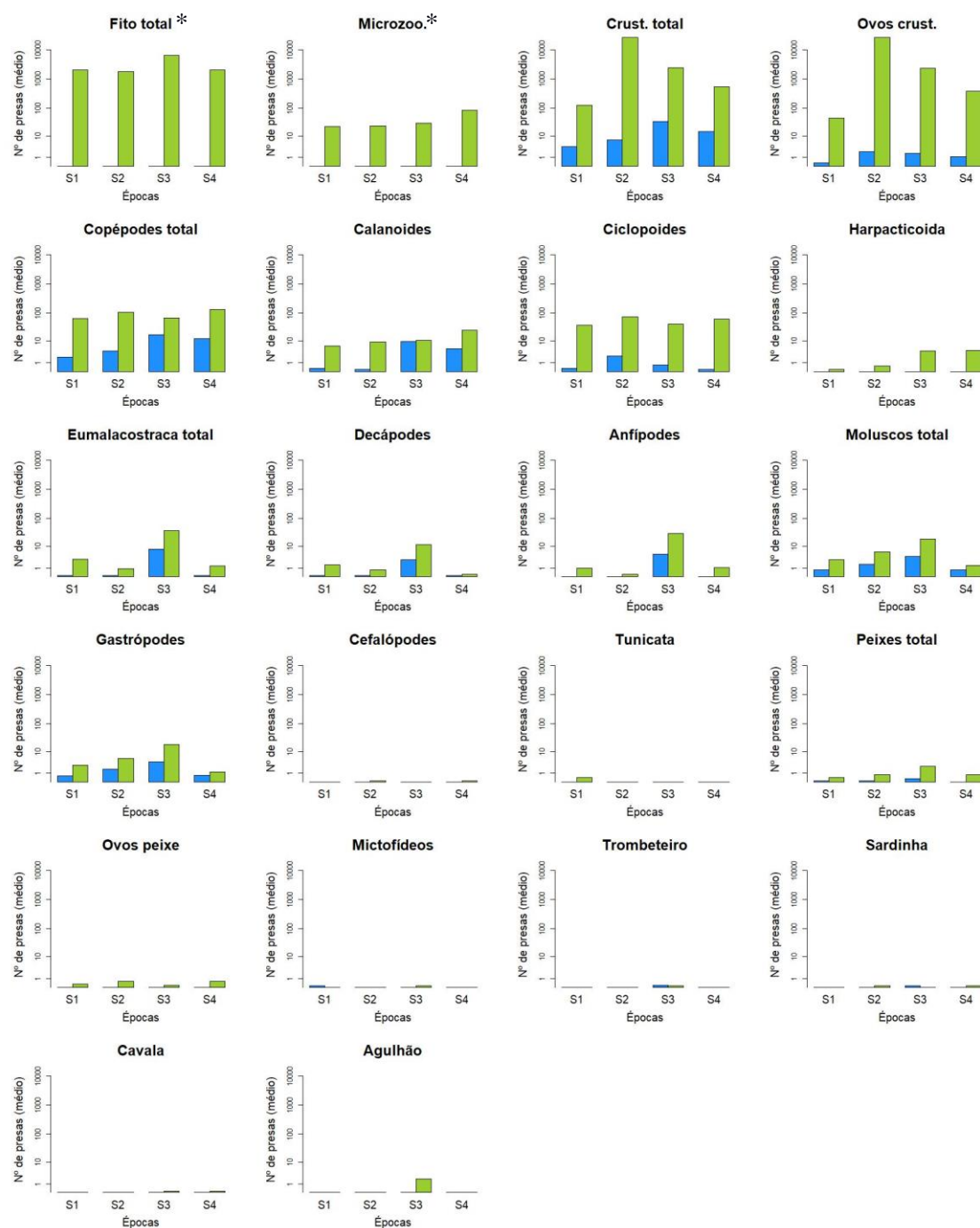
<i>Paracalanus</i> sp.	0	0	0	0	0	0	<0,1±<0,1	0	0	<0,1±<0,1
<i>Pleuromamma</i> sp.	0	0	6,7±11,6	25,8±19,8	4,7±12,4	0	<0,1±<0,1	<0,1±<0,1	7,2±10,2	1,6±5,6
<i>Scolecithrix</i> sp.	0	0	0,3±0,5	4,4±6,2	0,7±2,7	0	3,4±6,2	<0,1±<0,1	0,4±0,8	0,8±3,3
<i>Temora longicornis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	<0,1±<0,1	<0,1±<0,1
<i>Temora stylifera</i>	0,3±0,9	0	0	0	0,1±0,6	0,4±0,7	0	0	1,1±1,7	0,4±1,0
<b>Cyclopoida total</b>	<b>0,5±1,0</b>	<b>6,1±9,4</b>	<b>0,4±0,7</b>	<b>0,2±0,2</b>	<b>2,0±5,6</b>	<b>6,2±4,7</b>	<b>4,0±7,2</b>	<b>&lt;0,1±&lt;0,1</b>	<b>5,3±7,5</b>	<b>4,1±6,1</b>
<i>Corycaeus</i> sp.	0	3,2±7,1	0	0	0,9±4,0	1,9±2,3	1,4±2,8	<0,1±<0,1	3,9±5,7	1,8±3,5
<i>Oithona</i> sp.	0	0	0	0,1±0,2	<0,1±0,1	0,1±0,2	<0,1±<0,1	<0,1±<0,1	<0,1±<0,1	<0,1±0,1
<i>Oncaea</i> sp.	0,5±1,0	2,9±4,4	0	<0,1±<0,1	1,0±2,7	4,2±4,2	0,9±1,6	<0,1±<0,1	0,5±0,7	1,7±3,1
<i>Sapphirina</i> sp.	0	0	0,4±0,7	0	0,1±0,4	0	1,6±2,8	0	0,9±1,3	0,6±1,6
Harpacticoida n.i.	0	0	0	0	0	0	0,1±0,1	<0,1±<0,1	1,2±1,7	0,3±0,9
Copepoda – parasita	0	0	0	0	0	0,1±0,2	0	<0,1±<0,1	0	<0,1±0,1
<b>Eumalacostraca total</b>	<b>15,9±30,2</b>	<b>&lt;0,1 ±&lt;0,1</b>	<b>39,2 ±42,1</b>	<b>3,8±5,4</b>	<b>14,1 ±29,7</b>	<b>11,6±25,7</b>	<b>1,1±2,4</b>	<b>0,2±0,1</b>	<b>&lt;0,1±0,1</b>	<b>4,2±15,8</b>
Amphipoda n.i.	<0,1±<0,1	0	1,5±2,5	0	0,3 ±1,2	0,8±2,3	<0,1±<0,1	<0,1±<0,1	<0,1±<0,1	0,3±1,4
<b>Decapoda total</b>	<b>15,8±30,2</b>	<b>&lt;0,1±&lt;0,1</b>	<b>37,7±41,5</b>	<b>3,8±5,4</b>	<b>13,9 ±29,3</b>	<b>10,7±23,5</b>	<b>1,1±2,4</b>	<b>0,2±0,1</b>	<b>&lt;0,1±0,1</b>	<b>3,9±14,5</b>
Decapoda n.i.	0	<0,1±<0,1	30,2±41,2	3,8±5,4	6,0±21,1	8,7±18,2	<0,1±0,1	0,1±0,1	0	2,9±11,3
Brachyura n.i.	9,2±26,1	0	0,6±1,0	0	3,9±17,3	2,0 ±5,6	1,1±2,4	<0,1±<0,1	0	0,9±3,5
Anomura n.i.	6,6±18,7	0	7,0±2,1	0	4,0±13,4	0	0	0,1±0,1	<0,1±0,1	<0,1±0,1
Isopoda n.i.	0	0	0	0	0	0	0	<0,1±<0,1	0	<0,1±<0,1
Mysida n.i.	0	0	0	0	0	<0,1±<0,1	0	0	0	<0,1±<0,1
Ostracoda n.i.	0	0	0	0	0	0	0,1±0,1	0	0	<0,1±0,1
Thecostraca										
Cirripedia n.i.	0	0	0	0	0	0	<0,1±<0,1	0	0	<0,1±<0,1
<b>Mollusca total</b>	<b>6,5±11,9</b>	<b>31,3±32,5</b>	<b>0,6±1,1</b>	<b>0,6±0,9</b>	<b>11,4±22,4</b>	<b>12,5±15,8</b>	<b>8,8±18,0</b>	<b>&lt;0,1±&lt;0,1</b>	<b>22,3±35,9</b>	<b>11,1±22,3</b>
Bivalvia n.i.	<0,1±<0,1	0	0	0	<0,1±<0,1	0	0,2±0,3	<0,1±<0,1	<0,1±<0,1	<0,1±0,2
Cephalopoda n.i	0	0	0	0	0	3,2±8,9	8,1±18,2	0	21,3±36,4	7,6±21,4
<b>Gastropoda total</b>	<b>6,4±11,9</b>	<b>31,3±32,5</b>	<b>0,6±1,1</b>	<b>0,6±0,9</b>	<b>11,4±22,4</b>	<b>0,4±0,8</b>	<b>0,1±0,1</b>	<b>&lt;0,1±&lt;0,1</b>	<b>&lt;0,1±&lt;0,1</b>	<b>0,2±0,5</b>
n.i.	0,4±1,2	3,1±6,9	0	0	1,0±3,9	0	0	0	0	0
Postura n.i.	0,2±0,6	0	0	<0,1±<0,1	<0,1±0,4	0,4±0,8	0,1±0,1	<0,1±<0,1	<0,1±<0,1	0,2±0,5
Pteropoda n.i.	5,8±11,9	28,2±33,5	0,6±1,1	0,6±0,9	10,3±22,1	0	<0,1±<0,1	<0,1±<0,1	<0,1±<0,1	<0,1±<0,1
<b>Tunicata total</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0,1±0,4</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0,1±0,2</b>

Appendicularia										
Copelata										
Oikopleura sp.	0	0	0	0	0	0,1±0,4	0	0	0	0,1±0,2
Thaliacea										
Salpida										
Salpidae n.i.	0	0	0	0	0	0,1±<0,1	0	0	0	0,1±0,2
<b>PISCES total</b>	<b>33,1±47,1</b>	<b>33,3 ±47,1</b>	<b>50,0±50,0</b>	<b>0</b>	<b>31,8±46,6</b>	<b>24,4±35,9</b>	<b>58,3±44,6</b>	<b>99,7±0,2</b>	<b>45,8±45,6</b>	<b>53,4±46,0</b>
n.i.	22,2±41,6	33,3±47,1	7,1±12,2	0	19,5±38,4	19,0±36,1	41,7±44,7	33,2±47,0	11,9±26,6	25,6±40,7
Ovos n.i.	0	0	0	0	0	5,4±13,7	<0,1±<0,1	<0,1±<0,1	0,6±1,3	1,9±8,3
Actionopterygii										
Beloniformes										
<i>Scomberesox saurus</i>	0	0	0	0	0	0	0	39,5±41,0	0	8,8±25,4
Clupeiformes total	0	0	12,7±22,0	0	2,3±10,6	0	16,6±37,1	0	16,7±37,3	7,4±26,1
Clupeidae n.i.	0	0	12,7±22,0	0	2,3±10,6	0	16,6±37,1	0	0	3,7±18,8
<i>Sardina pilchardus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	16,6±37,2	3,7±18,9
Perciformes										
<i>Scomber colias</i>	0	0	0	0	0	0	0	10,3±14,8	16,6±37,1	6,0±20,1
Myctophiformes										
Myctophidae n.i.	11,1±31,4	0	0	0	4,5±20,8	0	0	<0,1±<0,1	0	<0,1±<0,1
Syngnathiformes										
<i>Macroramphosus scolopax</i>	0	0	30,2±41,2	0	5,5±21,1	0	0	16,6±37,1	0	3,7±18,8

## SECÇÃO 4: Sazonalidade de presas

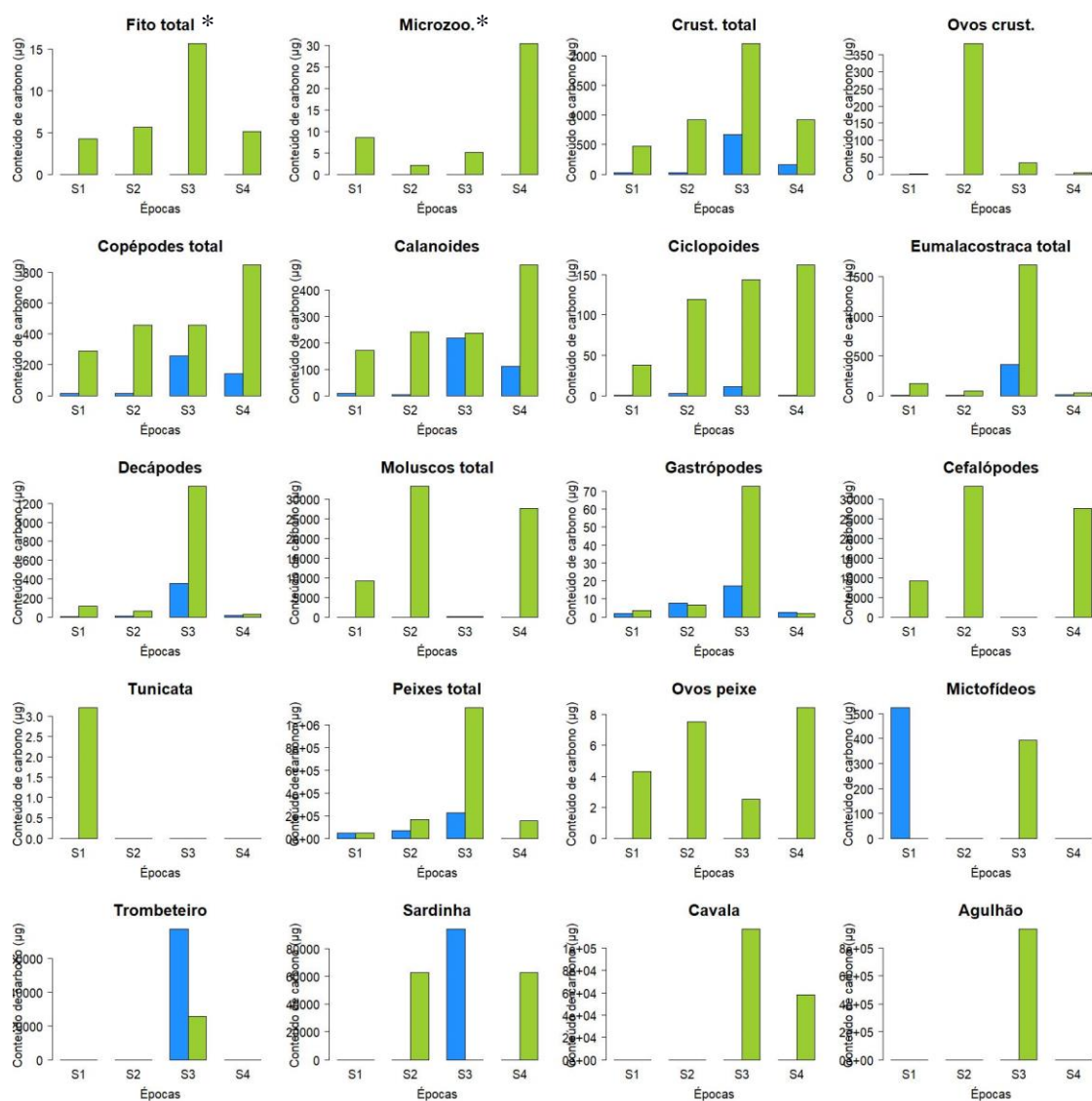


**Figura S4.1** - Frequência de ocorrência (FO%) por épocas do ano: Fevereiro-Abril (S1), Maio-Julho (S2), Agosto-Outubro (S3) e Novembro-Janeiro (S4) dos principais grupos de presas para carapau-negrão (azul) e cavala (verde). \*Não foi analisado nas amostras de carapau-negrão. Fito total: fitoplâncton total, Microzoo.: zooplâncton <200µm, Crust. total: crustáceos total, Ovos crust.: ovos de crustáceos.

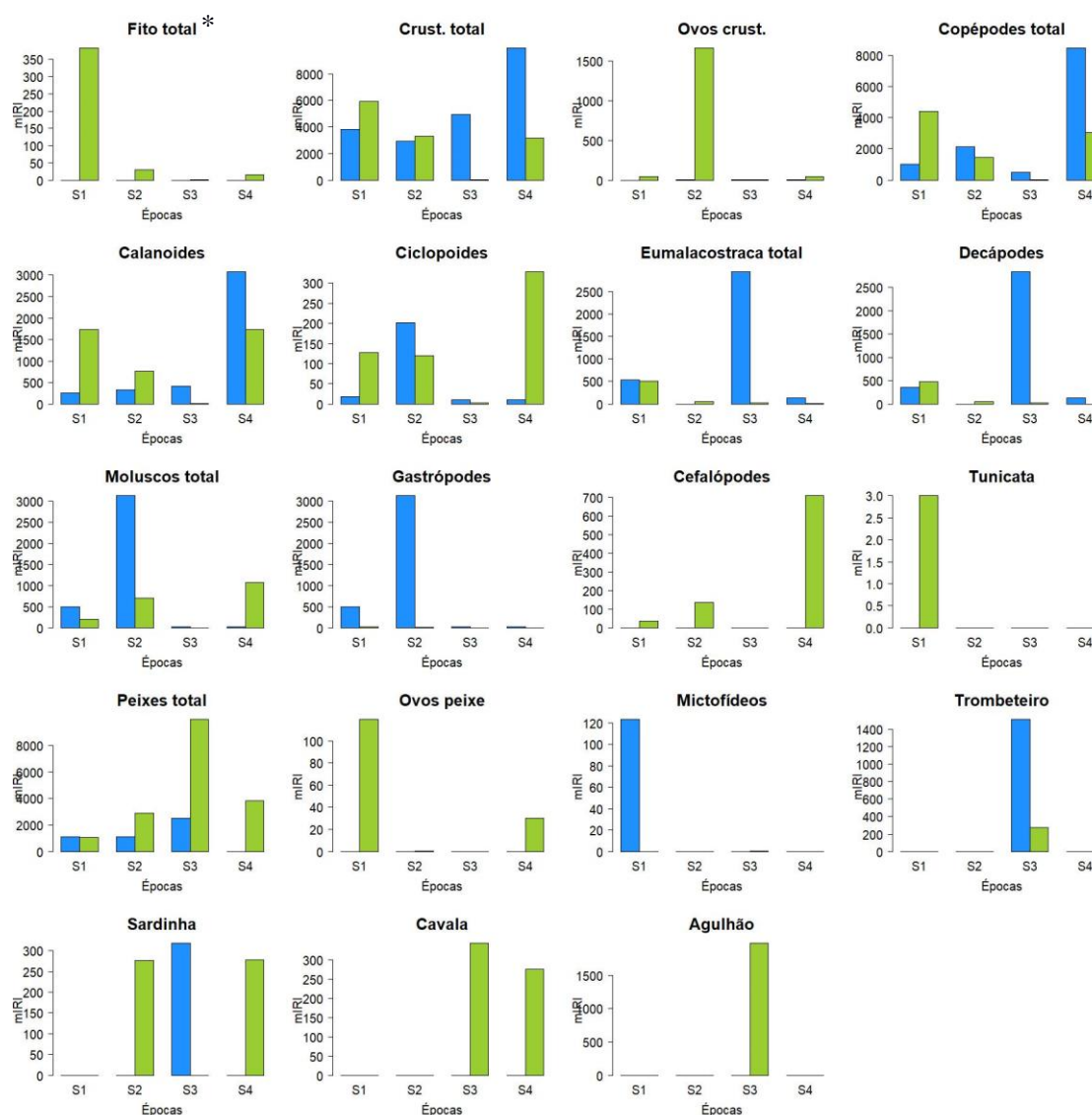


**Figura S4.2** – Número de presas (médio) por épocas do ano: Fevereiro-Abril (S1), Maio-Julho (S2), Agosto-Outubro (S3) e Novembro-Janeiro (S4) dos principais grupos de presas para carapau-negrão (azul) e cavala (verde). O eixo dos yy está representado como  $\log(x+1)$ . \*Não foi analisado nas amostras de carapau-negrão. Fito total: fitoplâncton total, Microzoo: zooplâncton  $<200\mu\text{m}$ , Crust. total: crustáceos total, Ovos crust.: ovos de crustáceos.





**Figura S4.3** - Conteúdo de carbono total (µg) (médio) por épocas do ano: Fevereiro-Abril (S1), Maio-Julho (S2), Agosto-Outubro (S3) e Novembro-Janeiro (S4) dos principais grupos de presas para carapau-negrão (azul) e cavala (verde). \*Não foi analisado nas amostras de carapau-negrão. Fito total: fitoplâncton total, Microzoo: zooplâncton <200µm, Crust. total: crustáceos total, Ovos crust.: ovos de crustáceos.



**Figura S4.4** - Índice de importância relativa modificado (mIRI) (médio) por épocas do ano: Fevereiro-Abril (S1), Maio-Julho (S2), Agosto-Outubro (S3) e Novembro-Janeiro (S4) dos principais grupos de presas para carapau-negrão (vermelho) e cavala (verde). \*Não foi analisado nas amostras de carapau-negrão. Fito total: fitoplâncton total, Crust. total: crustáceos total, Ovos crust.: ovos de crustáceos.

## SECÇÃO 5: Percentagem de sobreposição das áreas das elipses

**Tabela S5.1** - Resultados da função *maxLikOverlap* e respectiva percentagem de sobreposição das áreas das elipses standard (SEA) e das elipses standard corrigidas (SEAc) das espécies carapau-negrão e cavala.

	Área 1	Área 2	Área de sobreposição	% Sobreposição
<b>SEA</b>	1.396	5.671	0,991	16,310
<b>SEAc</b>	0.238	0.967	8.435e-17	<0,001